

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Návrh a realizace laboratorní úlohy měření parametrů tenzometrů.**  
**Design and implementation of laboratory tasks of measuring**  
**parameters of strain gauges.**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Antecký**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **3901R039 Biomedicínský technik**  
Téma: **Návrh a realizace laboratorní úlohy měření parametrů tenzometrů**  
**Design and Implementation of Laboratory Tasks of Measuring**  
**Parameters of Strain Gauges**

### Zásady pro vypracování:

1. Nastudovat problematiku tenzometrů.
2. Nastudovat problematiku řízení teploty senzorů.
3. Seznámit se s prostředky virtuální instrumentace.
4. Návrh laboratorní úlohy demonstrující vlastnosti tenzometrů.
5. Realizace navrženého řešení.
6. Vytvoření vzorového měření a demonstrace možností navrženého laboratorního zařízení.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. MARTINEK, R. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2004. 199 s. ISBN 80-7300-114-4.
2. KREIDL, M. *Měření teploty : senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 239 s. ISBN 80-7300-145-4.
3. ĎAŘO, S. - KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. Vyd. 2. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1999. 314 s. ISBN 80-01-02057-6.
4. BITTER, R. - MOHIUDDIN, T. - NAWROCKI, M. *LabVIEW : advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton : CRC/Taylor & Francis, c2007. 499 s. : il. + 1 CD-ROM. ISBN 978-0-8493-3325-5 (váz.)0-8493-3325-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kazárik**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem veškeré literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 4.5.2012



## **Poděkování**

Velice rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Jiřímu Kazárikovi za cenné rady a připomínky, které přispěly ke zlepšení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Davidu Valovi za významnou pomoc při řešení konstrukce k laboratorní úloze.

## **Abstrakt**

Následující bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací laboratorní úlohy, která se zaměřuje na měření parametrů tenzometrů. Práce obsahuje měření deformace tenzometrů a demonstraci, jak teplota ovlivňuje jejich přesnost. Pro laboratorní úlohu bylo nutné vytvořit měřicí konstrukci a navíc byl vytvořen počítačový program pro nastavení a měření veličin.

Vytvořená laboratorní úloha, společně s konstrukcí a počítačovým programem, je určena pro použití v laboratořích předmětu "Senzory a měření". Hlavním cílem úlohy je měření deformace tenzometrů při pokojové teplotě a po změnách teploty okolí. Pomocný program, který je určený pro čtení a nastavování daných hodnot, byl vyvinut v komerčním softwaru Labview.

## **Klíčová slova**

Deformace, tenzometr, teplotní kompenzace, komerční software Labview, změna teploty.

## **Abstract**

The following bachelor thesis is dealing with the design and the implementation of a laboratory task, which is focusing on measuring of parameters of strain gauges. The thesis includes the measurement of deformation of strain gauges and the determine, how the temperature affects their accuracy. For the laboratory assignment, it was necessary to create the measuring construction and moreover, the computer program for setting and measuring quantities had to be developed.

The created laboratory task, together with the construction and the computer program, is designed for use in the course "Sensors and measurement". The main goal of the assignment is to measure the deformation of strain gauges at room temperature and after temperature changes. The auxiliary program, which is responsible for reading and setting the given values, was developed in the commercial software LabVIEW.

## **Key words**

Deformation, strain gauge, temperature compensation, commercial software LabVIEW, temperature changes.

## Seznam zkratek a symbolů

B	materiálový ( teplotní) součinitel ( konstanta)	[K]
C1,C2	konstanty	
D	derivační složka regulátoru	
e	regulační odchylka	
GPiB	General Purpose Interface Bus	
I	integrační složka	
ITS	International Temperature Scale	
k	konstanta citlivosti	
$K_R$	součinitel přenosu regulátoru neboli zesílení	
LabView	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench	
N	polovodič s elektronovou vodivostí	
NI	National Instruments	
NTC	Negative Temperature Coefficient	
p	tlak plynu	[Pa]
P	proporcionální složka regulátoru	
P	polovodič s děrovou vodivostí	
PD	proporcionálně derivační regulátor	
PI	proporcionálně integrační regulátor	
PID	proporcionálně integrační derivační regulátor	
PTC	positive temperature coefficient	
Q	teplo absorbované	

$Q_h$	teplo vyzařované	
$R$	odpor termistoru při teplotě $T_0$	[K]
$R_0$	odpor termistoru při teplotě $T$	[K]
$R_p$	univerzální tlaková konstanta	
$T$	absolutní teplota	[°C]
$T_1, T_2$	teploty částí Peltierova článku	[°C]
$T_i$	integrační časová konstanta	
$T_d$	derivační časová konstanta	
$U_M$	výsledné napětí tenzometrů	[V]
$U_B$	napájecí napětí tenzometrického můstku	[V]
$V$	objem plynu	[m <sup>3</sup> ]
VXI	VME eXtension for Instrumentation	
$x$	akční veličina	
$\alpha_R$	teplotní součinitel elektrického odporu materiálu mřížky tenzometru	
$\alpha_S$	teplotní součinitel délkové roztažnosti materiálu	
$\alpha_V$	teplotní součinitel roztažnosti materiálu vinutí mřížky tenzometru	
$\alpha_T$	teplotní součinitel odporu termistoru	
$\Delta R_1$	změna odporu způsobená mechanickou deformací	[Ω]
$\frac{dR}{R}$	poměrná deformace vznikající při měření	

$\frac{dl}{l}$  poměrná změna odporu tenzometru

$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_T$  teplotní kompenzace

$\varepsilon_T$  poměrné prodloužení

$\lambda$  vlnová délka záření [m]



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tenzometry.....</b>	<b>2</b>
2.1	Princip měření tenzometry .....	2
2.2	Teplotní kompenzace tenzometrů .....	3
2.3	Druhy můstkových zapojení tenzometrů .....	3
2.4	Konstrukce tenzometrů .....	5
2.5	Tenzometry v lékařství a biomedicíně .....	6
<b>3</b>	<b>Peltierův článek .....</b>	<b>7</b>
3.1	Princip .....	7
3.2	Použití .....	9
<b>4</b>	<b>Měření teploty .....</b>	<b>10</b>
4.1	Rozdělení čidel teploty .....	10
4.2	Termistory .....	11
4.3	Teplotní závislost .....	13
<b>5</b>	<b>Regulátory .....</b>	<b>14</b>
5.1	Vlastnosti regulátoru .....	14
5.2	Druhy regulátorů .....	16
<b>6</b>	<b>Program Labview .....</b>	<b>18</b>
6.1	Obecný popis programu .....	18
6.2	Základní části Labview .....	18
6.2.1	Čelní panel .....	18
6.2.2	Blokový diagram .....	19
<b>7</b>	<b>Laboratorní úloha .....</b>	<b>21</b>
7.1	Blokové schéma laboratorní úlohy .....	21
7.2	Návrh mechanické konstrukce tenzometrů .....	22
7.3	Vytvoření konstrukce .....	22
<b>8</b>	<b>Měřicí karty.....</b>	<b>23</b>
8.1	Karta NI 6008 .....	23
8.2	Karta NI 9219 .....	24
<b>9</b>	<b>Výkonový budič .....</b>	<b>25</b>
9.1	Návrh výkonového budiče .....	25
9.2	Konstrukce výkonového budiče .....	26
<b>10</b>	<b>Peltierův článek .....</b>	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>Teplotní čidla .....</b>	<b>29</b>
<b>12</b>	<b>Tenzometry.....</b>	<b>29</b>
<b>13</b>	<b>Program Labview .....</b>	<b>30</b>
13.1	Čelní panel programu .....	30
<b>14</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>33</b>
14.1	Ohřev a chlazení Peltierova článku .....	33
14.2	Výsledky laboratorní úlohy .....	34
14.2.1	Stanovení kalibrační křivky tenzometrické váhy .....	34
14.2.2	Vliv teploty na tenzometr a ověření teplotní kompenzaci tenzometrů .....	35
<b>15</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
	<b>Použité zdroje.....</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>42</b>

# 1 Úvod

Deformace patří k běžným jevům působící na jakékoliv těleso. Obvykle má tato deformace negativní účinky jak na životnost, tak i na přesnost a kvalitu výrobku. Proto je důležité tuto vlastnost předmětů nějakým způsobem měřit. V dnešní moderní době je výhodné k tomuto měření použít součástku, která danou deformaci převede na elektrickou veličinu. K tomuto měření jsou vhodné tenzometry.

Cílem a náplní této bakalářské práce je návrh a realizace laboratorní úlohy na téma měření parametrů tenzometrů. Jedním z nejdůležitějších parametrů tenzometrů je, kromě jejich měření deformace, teplotní kompenzace, neboli závislost přesnosti měření na teplotě. V první kapitole jsou popsány jednotlivé typy tenzometrů a jejich hlavní použití. Dále je také v této kapitole popsáno použití tenzometrů v biomedicině a v lékařství.

Kvůli vytvoření laboratorní úlohy pro měření deformace tenzometrů byla zhotovena konstrukce, která bude sloužit k měření deformace a k demonstraci teplotní kompenzace tenzometrů. Ke změnám teploty působící na tenzometry je využit Peltierův článek. Dále musel být vytvořen vhodný počítačový program pro zaznamenávání výsledků tenzometrů a k regulaci teploty. Celková výroba konstrukce, od jejího návržení, sestavení a zhotovení komunikace mezi vytvořeným programem pro snímání hodnot je popsána v kapitole 6. K ohřevu nebo ke chlazení tenzometrů se využívá Peltierův článek. Pro komunikaci mezi použitými tenzometry a k zobrazení jejich výsledků byl zvolen program Labview. Tento program díky propojení s tenzometry přes měřicí karty vyhodnocuje jak přijímané data od tenzometrů, tak slouží i k nastavování teploty působící na tenzometry.

Celá laboratorní úloha se skládá z jednotlivých úkolů, které obsahují jak kalibraci tenzometrů v různých můstkových zapojeních, tak i ověření teplotní kompenzace tenzometrů. Úloha je sestavena tak, aby jejich úkoly nebyly příliš složité. Tyto úkoly jsou založeny už na známých výsledcích, a proto toto měření slouží spíše k ověření správnosti tvrzení.

## 2 Tenzometry

Elektrický tenzometr je pasivní elektrotechnická součástka, která se používá k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součásti prostřednictvím měření její deformace. Deformaci rozumíme změnu geometrických rozměrů a změnu krystalografické orientace. Podle druhu odporového materiálu lze tyto tenzometry rozdělit na:

- polovodičové
- kovové
- fóliové

### 2.1 Princip měření tenzometry

Kovové i polovodičové tenzometry napájené stejnosměrným nebo střídavým proudem mění ohmický odpor, jsou-li vystaveny mechanické deformaci působené měřenou veličinou. U kovových tenzometrů je změna ohmického odporu způsobena změnou průřezu drátku (fólie) měřicí mřížky a její délky. U polovodičových tenzometrů ve tvaru tyčinky je způsobena především změnou jejího měrného odporu, což je primární projev piezorezistentního jevu. Rozdílné fyzikální principy vedou k odlišným metrologickým a technickým vlastnostem obou druhů tenzometrů, a tedy i k rozdílným oblastem jejich hlavního využití v praxi.[1]

Mřížka kovového tenzometru (tyčinka polovodičového tenzometru) mají věrně sledovat deformaci měřeného povrchu, s nímž jsou spojeny velmi tenkou vrstvou tmelu, vytvářející dostatečný izolační odpor (přibližně  $10^{10} \Omega$ ). Tmely se neřídí Hookeovým zákonem a jejich charakteristickou veličinou pro dané použití je tečení. Používané tmely jsou nejčastěji na bázi epoxidové pryskyřice a mohou být zdrojem dominantní chyby měření. [1]

Kovové tenzometry se uplatňují, kde je zapotřebí velká přesnost. Polovodičové tenzometry mají využití tam, kde je třeba velká citlivost, která umožňuje použít je v senzorech miniaturních rozměrů s vysokou tuhostí měřicího členu pro měření v širokém frekvenčním rozsahu počínaje statickými hodnotami. U obou druhů tenzometrů je dosaženo dostatečně velkého odstupu měřicího signálu a šumu. Současná zesilovací elektronika již nezvyšuje chyby měření. [2]

Základní vztah charakterizující funkci tenzometru:

$$\frac{dR}{R} = k \cdot \frac{dl}{l} \quad (1.1)$$

kde

$\frac{dl}{l}$  - poměrná deformace vznikající při měření

$\frac{dR}{R}$  - poměrná změna odporu tenzometru

Součinitel deformační citlivosti  $k$  závisí na provedení tenzometru. Velikost odporu  $R$  je určena konstrukčním provedením a tvarem tenzometru. Tenzometry určené pro přesná měření jsou zapojovány do můstkových obvodů.

## 2.2 Teplotní kompenzace tenzometrů

Tenzometr umístěný na místě měření mění svůj odpor v určité závislosti na teplotě. Tuto změnu odporu tenzometru v závislosti na změně teploty můžeme vyjádřit vztahem:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_T = [\alpha_R + k(\alpha_S - \alpha_V)] \cdot \Delta T = \alpha_C \cdot \Delta T \quad (1.2)$$

$\alpha_R$  - teplotní součinitel elektrického odporu materiálu mřížky tenzometru

$\alpha_S$  a  $\alpha_V$  - teplotní součinitel délkové roztažnosti materiálu součásti na níž je tenzometr nalepen

$\alpha_V$  - teplotní součinitel roztažnosti materiálu vinutí mřížky tenzometru

Poměrné změně odporu odpovídá poměrné prodloužení:

$$\varepsilon_T = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_T \quad (1.3)$$

Poměrné prodloužení se projeví na výstupním napětí zapojení jako teplotní chyba, kterou se snažíme zmenšit, v nejlepším případě zcela odstranit. Tuto teplotní chybu můžeme zmenšit nebo úplně odstranit použitím samokompenzačních tenzometrů, které jsou vyrobeny z materiálu, který má v rozsahu teplot při měření velmi malou hodnotu poměrné změny odporu  $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_T$ , nejlépe

téměř nulovou. Vložením kompenzačního tenzometru do měřicího můstku, u kterých dochází ke změně odporu pouze v důsledku změny teploty. Kompenzační tenzometry jsou v podstatě stejné jako aktivní tenzometry. Kompenzační tenzometry se umísťují blízko aktivních tenzometrů, aby teplotní změny aktivních tenzometrů byly stejné i pro kompenzační tenzometry. Na kompenzační tenzometry však nesmí působit žádná deformační síla jako na aktivní tenzometry. Dokonce i aktivní tenzometry v sousedních větvích můstku plní funkci kompenzačních tenzometrů. [2]

## 2.3 Druhy můstkových zapojení tenzometrů

Tenzometry je možné zapojit do Wheastonova můstku zapojit několika způsoby a tím dosáhnout určité hodnoty výstupního signálu nebo teplotní kompenzace na výstupní signál. podle počtu aktivních tenzometrů tyto základní druhy zapojení dělíme na:

- **Čtvrtmůstek:** Tento druh zapojení má jen jeden aktivní tenzometr. Další tři odpory jsou tvořeny buď pouze kompenzačními tenzometry, nebo jedním kompenzačním tenzometrem, obvykle zabudovaným ve vyhodnocovací aparatuře, a dvěma odpory a nebo třemi odpory. V případě použití třech odporů není kompenzován vliv teploty na výsledek měření. Pro výstupní signál z tohoto druhu můstkového zapojení platí vztah:

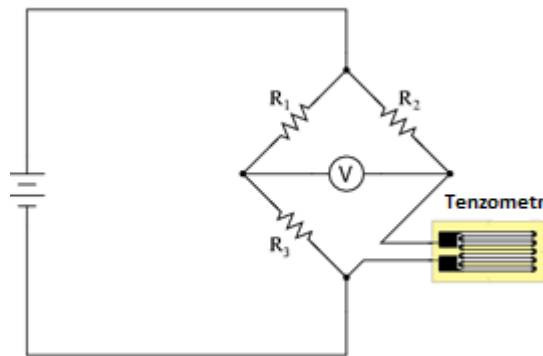
$$U_m = \frac{U_B}{4} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{U_B}{4} \cdot k \cdot \varepsilon_1 \quad (1.4)$$

kde

$U_B$  - napájecí napětí tenzometrického můstku

$R_1$  - odpor tenzometru

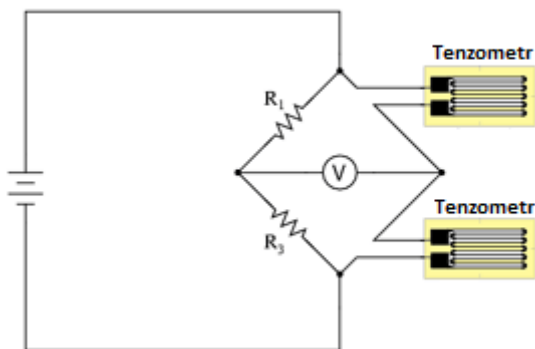
$\Delta R_1$  - změna odporu způsobená mechanickou deformací



Obrázek 1 Tenzometr v zapojení čtvrťmůstek

- **Půlmůstek:** Ten je tvořen dvěma aktivními tenzometry a zbylé dva odpory mohou být buď konstantní odpory, nebo kompenzační tenzometry. Pro výstupní signál z tohoto druhu můstkového zapojení platí vztah:

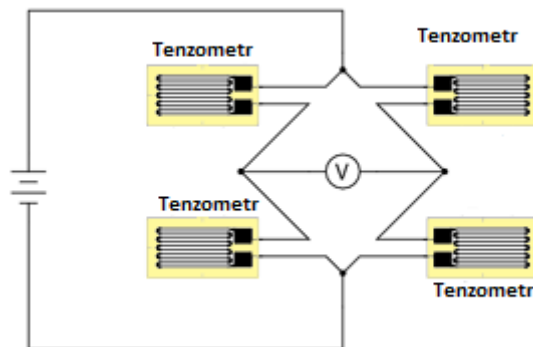
$$U_m = \frac{U_B}{2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{U_B}{2} \cdot k \cdot \varepsilon_1 \quad (1.5)$$



Obrázek 2 Tenzometr v zapojení půlmůstek

- **Celý (plný) můstek:** Plný můstek tvoří čtyři aktivní tenzometry. Vliv teploty u celého můstku je plně kompenzován. Pro tenzometry se stejnými vlastnostmi a místem umístění platí pro výstupní signál tento vztah:

$$U_m = U_B \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} = U_B \cdot k \cdot \varepsilon_1 \quad (1.6)$$



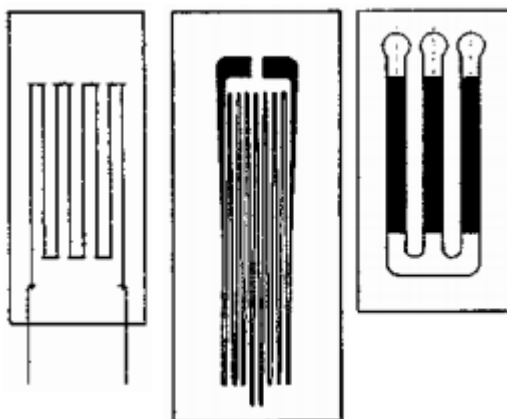
Obrázek 3 Tenzometr v zapojení celý (plný) můstek

Tenzometry je možné nalepit na součásti a zapojit je do můstku různým způsobem podle účelu měření, pokud chceme měřit normálová napětí v určitém místě, tlakovou nebo tahovou sílu, ohyb atd. Poté vztah pro výsledný signál je ve tvaru:

$$U_m = U_B \cdot k \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4) \quad (1.7)$$

## 2.4 Konstrukce tenzometrů

Odporový tenzometr je základní částí siloměrného tenzometrického čidla a jeho úkolem je reagovat příslušnými odporovými změnami na mechanickou deformaci vyvolanou působící silou. Odporový tenzometr je pasivní čidlo nalepené na povrchu součásti (páskové tenzometry) nebo pevně spojené s měřeným tělesem (průmyslové tenzometry pro váhy nebo pro trvalé sledování mostních konstrukcí). Hlavní částí odporového tenzometru je odporový vodič, který sleduje měřenou deformaci. Základní konstrukce odporových tenzometrů je taková, že odporový vodič nebo polovodič je nalepen na podkladový materiál a s tímto podkladným materiálem je nalepen na vlastní měrný člen v místě vzniku maximálních deformací. [1]



Obrázek 4 Druhy konstrukce tenzometrů (zleva drátkový, fóliový a polovodičový tenzometr)

### Druhy konstrukce odporových tenzometrů:

- **Kovové tenzometry** - Kovové tenzometry se nejčastěji vyrábějí se slitin Cu – Ni (nichrom). Drátkové snímače jsou vinuté z drátků o průměru 10 až 40 mikronů, foliové se vyrábějí odleptáním napařené folie. Kovové tenzometry se používají k měření povrchových deformací kriticky namáhaných součástí. [1]
- **Drátkové tenzometry** - Na podkladovém papíru je nalepen meandrovitě vinutý odporový drát. Pro tyto účely musí mít vodič velmi malý průměr a používá se drátků o průměru kolem 0,025 mm. Meandrovitě vinutí zvětší celkovou aktivní délku vodiče bez délkových rozměrů tenzometrů. Na konci měrného vinutí jsou přívodní vodiče. Tenzometr se přilepuje speciálním lepidlem, jehož hlavní vlastností musí být minimální prokluz při účinku smykových sil, které vznikají při přenosu deformace z deformované (zatížené) součásti, na niž se tenzometr nalepí, na vinutí tenzometrů. [1]
- **Fóliové tenzometry** - Jsou nejnovějším druhem odporových tenzometrů. Konstrukce je stejná jako u drátkových tenzometrů, rozdíl je pouze v technologii výroby. Základem pro výrobu je tenká odporová fólie, ve které je meandrovitě vinutí vyleptáno fotochemickou cestou. Fólie používaná pro výrobu je tloušťky 0,01 až 0,02 mm a po vyleptání meandru se nalepuje hlavně na podklady z plastických hmot, ale i na podkladový papír jako u drátkových tenzometrů. Předností fóliových tenzometrů je větší plocha meandru a tím lepší odvod tepla vyvolaného proudem proudu. Z tohoto důvodu je možné fóliové tenzometry napájet vyšším proudem. Díky tomu je výstupní signál větší, než u drátkových tenzometrů. [1]
- **Polovodičové tenzometry** - Základem polovodičového tenzometrů je tenká fólie z polovodičového materiálu, vytvořená z krystalu polovodiče. Polovodičové fólie bývají vyráběny z křemíku nebo germania. Fólie nemá vyleptaný meandr, protože i krátká aktivní délka stačí k získání silného signálu. Konstanta citlivosti polovodičových tenzometrů dosahuje běžné hodnoty  $k = 120$ . Kromě velké citlivosti mají polovodičové tenzometry některé nevýhody. Například na ně velmi působí změny teploty a vlhkosti a při jejich nalepování se nepříznivě projevuje malá pružnost polovodičového materiálu. Polovodičové tenzometry se výhradně používají v senzorech mechanických veličin. K měření deformace se používají jen při měření malé deformace na malé ploše (např. vědecké přístroje). [1]

## 2.5 Tenzometry v lékařství a biomedicině

### Váhy

Jedním z úkonů, kde se hojně využívají tenzometry, je měření váhy. Měření váhy v lékařství se provádí jak u měření váhy samotných pacientů (osobní váhy), tak i například u měření léčiv (laboratorní váhy). K těmto lékařským úkonům se využívají hlavně váhy tenzometrické. Tenzomet-

rické váhy mají v sobě zabudovaný tenzometry, který podle měření své deformace a následným přepočtem zobrazí hmotnost váženého předmětu. Tenzometrické váhy takto nahradily váhy pružinové. Největší výhodou tenzometrických vah je jejich velká přesnost a také velký měřicí rozsah (využívají se i v průmyslu). [11]



Obrázek 5 Tenzometrická laboratorní váha

#### **Intravaskulární měření krevního tlaku**

Intravaskulární měření krevního tlaku je jednou z invazivních metod měření krevního tlaku. Krevní tlak se měří přímo v krevním oběhu pacienta pomocí katétru, na jehož špičce je umístěný senzor. Základní částí snímače je pružná membrána, která odděluje snímací element od krve. Tlak proudící krve se pak přenáší na snímací element. Při tomto druhu měření krevního tlaku se jako snímací elementy používají polovodičové tlakové tenzometry. Výstupem z tenzometrů je napěťový signál, jehož změny jsou přímo úměrné změnám tlaku. Pro větší přesnost měření tlaku se tenzometry zapojují do můstkového zapojení. Součástí celého senzoru jsou i další elektronické obvody, které slouží například pro zesílení a filtraci signálu. [10]

### **3 Peltierův článek**

V roce 1834 objevil francouzský fyzik Jean Charles Athanase Peltier ( 1783 - 1845) efekt, který je opačný k Seebeckově efektu.

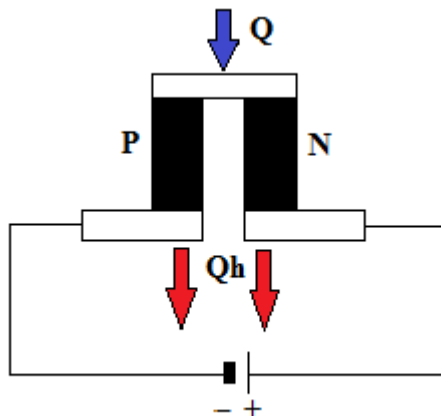
**Seebeckův jev:** - jsou-li spojeny dva vodiče z různých kovů do uzavřeného obvodu a mají-li spoje různou teplotu  $T_1$  a  $T_2$ , protéká obvodem elektrický proud.

**Peltierův efekt:** - protéká-li stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje Seebeckovým obvodem, pak vzniká teplotní rozdíl mezi oběma spoji. Teče-li proud z vnějšího zdroje daným směrem stejným směrem, jaký má proud při ohřátí tohoto spoje v Seebeckově jevu, pak se daný spoj ochlazuje. Prochází-li proud směrem opačným, pak se spoj ohřívá. Peltierův efekt závisí na druhu kovů a na jejich teplotě.[3]

#### **3.1 Princip**

Peltierův článek se skládá ze dvou polovodičových tělísek (jedno z polovodiče typu N, druhé z polovodiče typu P) a spojovacího můstku, které zprostředkovává jednak přívod elektrické energie a také absorbují a vyzařují teplo. Základní zapojení Peltierova článku je znázorněno na obrázku 6.





**Obrázek 6 Základní zapojení Peltierova článku**

kde

$Q$  - teplo absorbované

$Q_h$  - teplo vyzařované

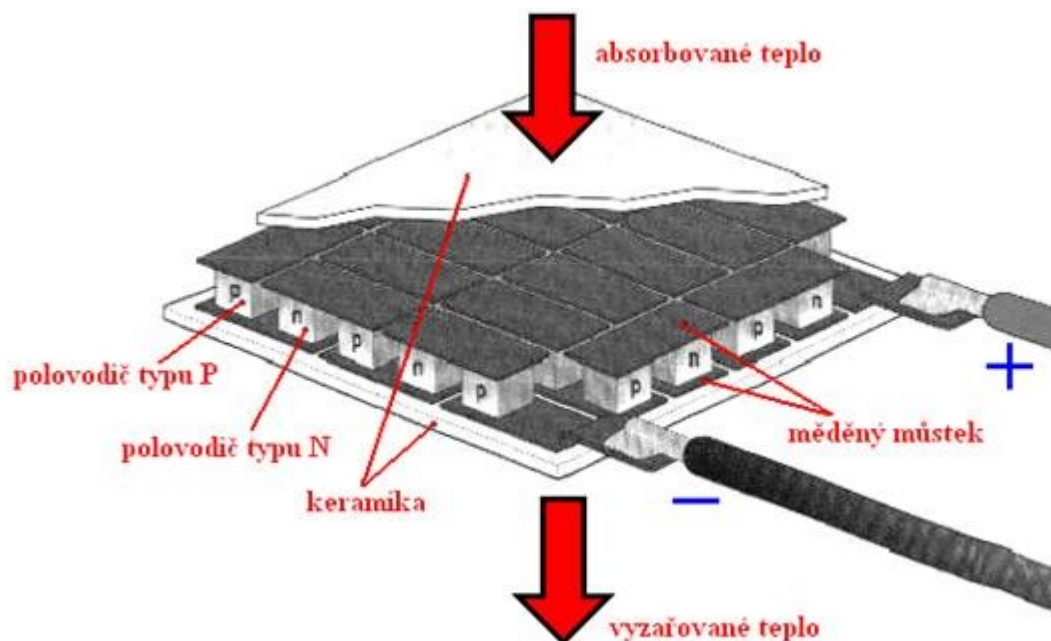
P - polovodič s děrovou vodivostí

N - polovodič s elektronovou vodivostí

Při tomto zapojení článku jsou z polovodiče typu N, kde jsou majoritními nosiči náboje elektrony, tyto elektrony odváděny směrem ke zdroji napětí. Stejným způsobem jsou ke zdroji napětí z polovodiče typu P odváděny jeho majoritní nosiče náboje, díry. Díky tomu ve spojovacím můstku klesá počet volných nosičů náboje, a tím klesá kontaktní napětí mezi spojovacím můstkem a polovodiči. Spojovací můstek se tedy ochlazuje, zatímco druhý spoj se ohřívá.[3]

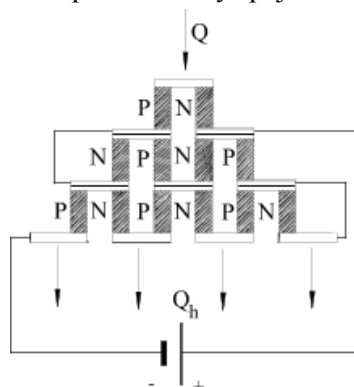
Materiál pro Peltierův článek by měl mít tyto vlastnosti: velký Seebeckův koeficient, malou měrnou tepelnou vodivost a velkou měrnou elektrickou vodivost, resp. malý měrný elektrický odpor.

Základním polovodičovým materiálem na Peltierovy články jsou převážně vizmut-telluridy. Tyto materiály mají výhodné termoelektrické vlastnosti, nízký měrný elektrický odpor a malou tepelnou vodivost. Spojovací můstky jsou zhotoveny většinou z mědi (malý měrný elektrický odpor, možnost pájení). V místě styku můstku a polovodiče vzniká nežádoucí přechodový odpor, který může značně nepříznivě ovlivnit dosažitelný chladicí výkon  $Q$  článku a maximální dosažitelný teplotní rozdíl obou spojek. Jednotlivé Peltierovy články se obvykle zapojují do série ve větší celky, takzvané chladicí termobaterie (obrázek 7). K dosažení vyšších teplotních rozdílů při zachování určitého chladicího výkonu se spojují jednotlivé termoelementy do kaskádních baterií (obrázek 8) nebo termobaterie do kaskády. V tomto případě se musí zajistit elektrická izolace mezi termobateriemi. Jako izolace se používá keramika s dobrou tepelnou vodivostí.[4]



Obrázek 7 Peltierova termobaterie

Pro spojení termobaterií do kaskády je vhodné keramické destičky potříit silikonovým tukem pro zajištění malého tepelného odporu mezi bateriemi nebo baterie slepit vhodným lepidlem s dobrou tepelnou vodivostí. Kaskádní řazení termoelementů má výhodu především v dosažení vyšší chladicí účinnosti pro požadované velké teplotní rozdíly spojek.



Obrázek 8 Termobaterie zapojené do kaskády

### 3.2 Použití

Peltierovy články lze využít v praxi jako:

- **Zařízení pro přenos tepelné energie** - Peltierův článek bude jednu část prostoru ochlazovat a druhou ohřívat. Teplo tak bude přeházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. Takto se používají například v přenosných chladících boxech nebo jako chladíče elektronických součástek. [5]
- **Zdroj elektrického napětí** - Takto bude Peltierův článek fungovat, jestliže bude jedna jeho část ochlazována a druhá ohřívána. Jde vlastně o přímou aplikaci Seebeckova jevu.

## 4 Měření teploty

Teplota je stavová veličina. Hodnota teploty se určuje srovnáním daného stavu s teplotní stupnicí. Teplotní stupnice vychází z některých fyzikálních zákonů zejména ze stavové rovnice ideálního plynu.

$$pV = R_p \cdot T \quad (3.1)$$

kde

p - tlak plynu

V - objem plynu

R<sub>p</sub> - univerzální tlaková konstanta

T - absolutní teplota

Pro vyšší teploty (vyzařování těles) je důležitý Planckův zákon. Pro spektrální hustotu vyzařování platí:

$$H_\lambda = C_1 \lambda^{-5} \left( \exp \frac{C_2}{\lambda T} \right)^{-1} [W \cdot m^{-3}; W \cdot m^2, m, m \cdot K, n, K] \quad (3.2)$$

kde

λ-vlnová délka záření

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> - konstanty

Tyto zákony umožňují určovat termodynamickou teplotu. Realizace měření je velmi náročné, proto se na termodynamické stupnici určují jen některé body, které tvoří tzv. Mezinárodní teplotní stupnici ITS. Teplotní rozsah je vymezen varem kyslíku -182,962 °C a tuhnutím wolframu 3387 °C. [6]

### 4.1 Rozdělení čidel teploty

Čidla teploty můžeme rozdělit podle různých hledisek a kritérií. Podle fyzikálního principu dělíme čidla na:

- dilatační (plynové, kapalinové, parní a bimetalové)
- elektrické (kovové, polovodičové, termoelektrické)
- čidla speciální

Dělení čidel podle vzájemného působení měřeného objektu a čidla na čidla (metody):

- dotyková
- bezdotyková

Dělení čidel podle typu výstupního signálu na čidla:

- analogová

- číslíková

Další dělení je podle teplotního rozsahu, konstrukčního řešení, použitého materiálu čidla atd. Přehled čidel je vypsán na obrázku 9.

Typ	Rozsah měření [°C]	Dovolené chyby [°C]
Dilatační tyčové	0 až 1000	1 až 2 %
Dvojkovové	-130 až 500	1 až 3 %
<b>Termoelektrické</b>		
<b>T</b> (Cu – CuNi)	-200 až 400	viz příslušné normy
<b>J</b> (Fe – CuNi)	-200 až 700	
<b>V</b> (ch – k)	-200 až 600	
<b>K</b> (NiCr – NiAl)	-200 až 1000	
<b>S</b> (PtRh10–Pt)	0 až 1300	
<b>R</b> (PtRh13–Pt)	0 až 1300	
<b>B</b> (PtRh30–PtRh6)	300 až 1600	
<b>Odporové – Pt, Ni</b>	-200 až 1000	viz příslušné normy
<b>Termistorové</b>	-200 až 1000	viz příslušné normy
<b>Pyrometry:</b>		
jasové	600 až 2500	1 až 35 K
pásmové	od -80	1 až 1,5 %
úhrnné	100 až 1500	
barvové	-40 až 1500	10 až 25 K
srovnávací	1150 až 1800	1 až 1,5 %
barvové poměrové	700 až 2000	

Obrázek 9 Základní druhy čidel

## 4.2 Termistory

Termistory jsou nelineární polovodičová čidla s vysokou závislostí elektrického odporu na teplotě. Polovodičová čidla se dělí na monokrystalické a polykrystalické. Polykrystalickou skupinu představují termistory. Polykrystalickou skupinu můžeme rozdělit na negastory (záporná závislost odporu na teplotě) a na pozistory (kladná závislost odporu na teplotě).

Teplotní součinitel odporů u termistorů je 5x až 50x větší než u kovů. Jsou vyráběny práškovou metalurgií (spékáním) různých druhů oxidů. Používají se hlavně pro nízkoteplotní. Pro vyšší teploty se používají směsi oxidů vzácných zemin. Horní hranice měření teploty termistory je 1000 °C.

Závislost odporu na teplotě je u termistorů dána vztahem:

$$R = R_0 \exp \left[ -B_t \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.3)$$

kde

$R_0$  - odpor termistoru při teplotě  $T_0$  [K]

$R$  - odpor termistoru při teplotě  $T$  [K]

$B$  - materiálový (teplotní) součinitel (konstanta) [K]

Velikost  $B$  závisí na složení a zpracování oxidové směsi.

$$B \approx \ln p \quad (3.4)$$

$$R = R_0 \left[ -B_T + \alpha_T (T - T_0) \right] \quad (3.5)$$

Součinitel B je závislý na teplotě T termistoru. Pro úzký teplotní rozsah můžeme psát

kde

$\alpha_T$  - teplotní součinitel odporu termistoru, pro který platí:

$$\alpha_T = -\frac{B}{T_0^2} \quad (3.6)$$

### Termistory NTC (negastory)

Již podle názvu mají termistory NTC (Negative Temperature Coefficient) záporný teplotní součinitel odporu. S rostoucí teplotou se zvyšuje koncentrace nosičů náboje a elektrický odpor klesá. Negastory se vyrábí práškovou technologií spékáním. Kromě termistorů pro běžné teplotní rozsahy -50 °C až 150 °C se vyrábí i speciální termistory pro nízké (od cca 4 K) a vysoké teploty do 1000 °C.[7]

### Základní vlastnosti termistorů NTC

- teplotní součinitel odporu je záporný a zhruba o řád vyšší než u kovů (obvykle nabývá hodnot -0,03 K<sup>-1</sup> až -0,06 K<sup>-1</sup>)
- běžný rozsah teplot je -50 °C až 150 °C (méně často -100 °C až 300 °C, výjimečně do 400 °C)
- široké rozmezí hodnot odporu (od 0,1 Ω až několik MΩ)
- velká citlivost, malá hmotnost a rozměry umožňují měřit i velmi rychlé teplotní změny
- v porovnání s platinovými senzory jsou NTC termistory méně stabilní a časově nestálé
- nevýhodou je značná nelinearita

Negastory se dobře uplatní v méně náročných aplikacích, pro bodové měření a pro měření malých nebo rychlých změn teploty. Jsou snadno dostupné a obvykle mají i příznivou cenu. Vyrábějí se i termistory s vysokou přesností, širokým rozsahem teplot a dobrou dlouhodobou stabilitou.

Negastory jsou vyráběny v širokém rozsahu hodnot  $R_0$  od  $10^{-1}$  do  $10^6$  Ω i více. Mohou být velmi malých rozměrů tvaru perliček, tyčinek a destiček. Základní parametry některých termistorů jsou uvedeny na obrázku 10. [6]

Řada	Rozsah odporu při 25 °C [kΩ]	Maximální dovolené zatížení [W]	Konstanta $B$ (25 až 80 °C)	Teplotní rozsah [°C]
NR 0055	0,01 až 0,02	1,25	1 200	–60 až +80
TH 120/22–20	0,020	—	1 100	–230 až +125
NR M2	3,3 až 10	—	4 000	–60 až +125
NR F2	0,010 až 4,7	0,75	2 850	–25 až +100
NR 08	3 až 100	0,01	3 400	–60 až +200
NR 08 A	4,7 až 65	0,01	3 400	–60 až +200
NR 12	0,3 až 1000	—	2 600	–60 až +200
NR 15	0,3 až 1000	0,03	2 200	–60 až +200

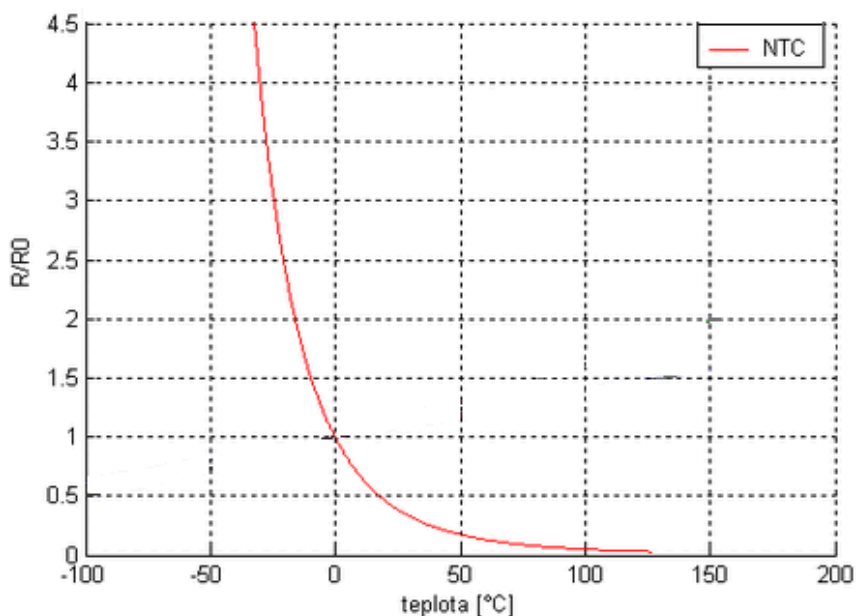
Obrázek 10 Vlastnosti některých termistorů vyráběny v ČRS

#### Termistory PTC (pozistory)

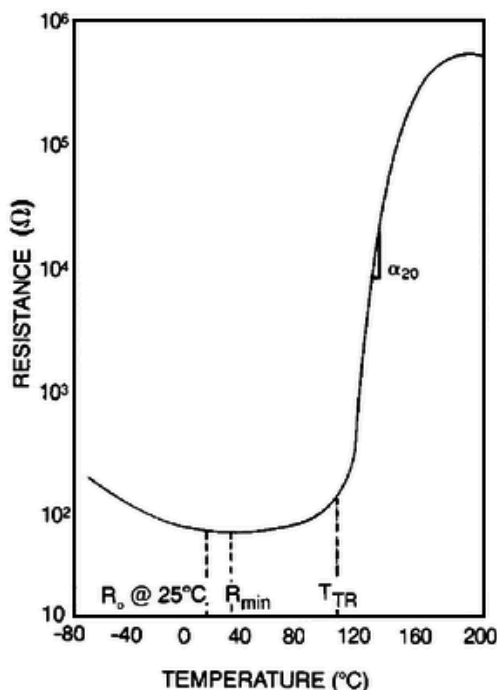
Termistory PTC (positive temperature coefficient) mají na rozdíl od NTC termistorů kladný teplotní koeficient. Termistory PTC nelineární závislost odporu na teplotě. Jejich odpor s rostoucí teplotou nejprve mírně klesá a po překročení Curieovy teploty strmě roste. Po nárůstu zhruba o tři řády hodnota odporu opět mírně klesá (s touto částí charakteristiky se však již obvykle nepracuje). Celkovou teplotní závislost je vidět na obrázku 11. [7]

### 4.3 Teplotní závislost

Teplotní závislost u termistoru jak u NTC a PTC je značně nelineární. Je to zřejmé z jejich teplotních závislostí zobrazených na obrázku



Obrázek 11 teplotní závislost termistoru PTC na odporu



Obrázek 12 teplotní závislost termistoru NTC na odporu

## 5 Regulátory

Regulace je základním prvkem automatizace technologických procesů. Je realizována pomocí speciálních obvodů spojených s technologickým zařízením a zajišťuje dodržování podmínek, za kterých má technologický proces probíhat.

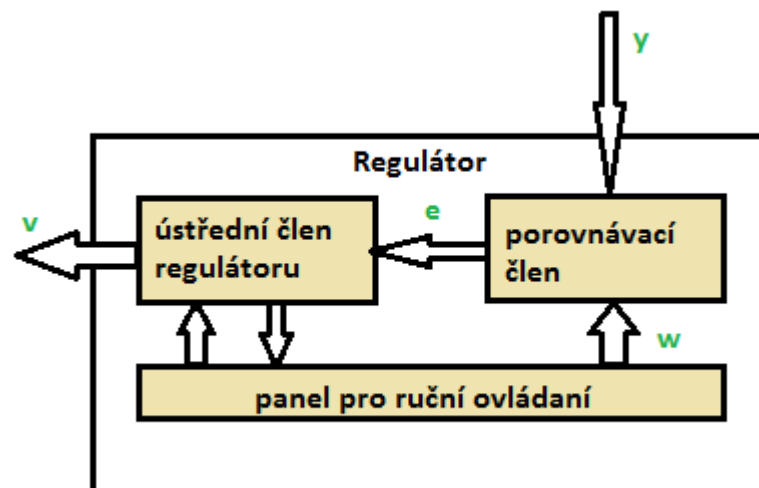
### 5.1 Vlastnosti regulátoru

Regulací rozumíme udržování určité technologické veličiny (regulovaná veličina) na určité, obvykle konstantní, hodnotě (tzv. řídicí veličina nebo žádaná hodnota).

Regulátor je technické zařízení, které tuto funkci realizuje. Regulátorů existuje několik typů, ale můžeme je však rozdělit na dvě základní skupiny: regulátory pracující spojitě a regulátory pracující nespojitě.

U spojitých regulátorů je vstupní i výstupní signál spojitou funkcí času (může se měnit v každém časovém okamžiku) a u nespojitých se vstup, výstup nebo obojí mění s časem nespojitě (v určitém časovém okamžiku dochází ke skokové změně z jedné hodnoty na jinou). V praxi se nejčastěji používají spojitě regulátory. Moderní elektronické regulátory jsou sice svou podstatou nespojitě, ale vzhledem k velice krátkým časovým intervalům mezi jednotlivými zásahy se navenek chovají prakticky jako spojitě.[8]

Na obrázku 13 je zobrazené obecné schéma regulátoru, které platí pro každý regulátor realizovaný jako samostatný technický prvek.



Obrázek 13 Obecné schéma regulátoru

Porovnávací člen určuje hodnotu regulační odchylky  $e$  odečtením měřené hodnoty regulované veličiny od hodnoty řídicí veličiny podle vztahu:

$$e = w - y \quad (4.1)$$

Hodnota řídicí veličiny  $w$  se u běžných regulátorů buď nastavuje ručně na ovládacím panelu, nebo může být nastavována dálkově standardním signálem.

Regulační odchylku zpracovává ústřední člen regulátoru a výsledkem je akční zásah, tedy signál ovládající akční člen. Funkce ústředního členu mohou být různé podle požadavků na kvalitu regulace. Obecný tvar rovnice popisující chování (časový průběh výstupu  $v$ ) běžně užívaného spojitě pracujícího ústředního členu následující:

$$v = r_0 \cdot e(t) + r_{-1} \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + r_1 \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4.2)$$

Ústřední člen je tedy tvořen třemi částmi, které definují jeho vlastnosti:

- **proporcionální složkou P** - určuje reakci regulátoru na velikost regulační odchylky;  $r_0$  je proporcionální konstanta (zesílení) regulátoru
- **integrační složkou I** - určuje reakci regulátoru na dobu trvání regulační odchylky;  $r_{-1}$  je integrační konstanta regulátoru
- **derivační složkou D** - určuje reakci regulátoru na rychlost změny hodnoty regulační odchylky,  $r_1$  je derivační konstanta regulátoru

Uvedené tři základní vlastnosti ústředního členu (P, I a D) se v reálných regulačních obvodech kombinují tak, aby regulace fungovala co nejlépe. Výsledné regulátory se pak označují příslušnou kombinací písmen P, I a D.



## 5.2 Druhy regulátorů

### Regulátor P (proporcionální regulátor)

Nejjednodušší závislost mezi výstupní a vstupní veličinou regulátoru je přímá úměrnost. Regulátor, který v rovnovážném stavu uvedenou závislost splňuje, se nazývá proporcionální regulátor. Jeho rovnice má tvar:

$$x = K_R \cdot e \quad (4.3)$$

kde

$K_R$  - součinitel přenosu regulátoru neboli zesílení.

Regulátor typu P je velmi jednoduchý, levný a stabilní. Jeho největší nevýhoda je, že pracuje s trvalou regulační odchylkou. Trvalou regulační odchylku nelze u proporcionálního regulátoru odstranit, ale můžeme ovlivnit její velikost volbou pásma proporcionality. Jestliže pásmo proporcionalit zvětšujeme, zvětšuje si i trvalá regulační odchylka. Jestliže pásmo proporcionality zmenšujeme, trvalá regulační odchylka se sice zmenšuje, ale zmenšuje si i stabilita regulátoru.[9]

### Regulátor I (integrační regulátor)

U integračního regulátoru každé hodnotě vstupní veličiny odpovídá úměrná změna rychlosti výstupní veličiny. Rovnice integračního regulátoru má tvar:

$$x = \frac{K_R}{T_i} \int e dt \quad (4.4)$$

kde

$T_i$  - integrační časová konstanta

Vzhledem k tomu, že hodnota výstupní veličiny je úměrná integrálu vstupní veličiny, nazýváme tento regulátor integrační regulátor. Jeho nejvýznamnější vlastností je, že pracuje bez trvalé regulační odchylky. Vzhledem ke svému astatismu není vhodný pro regulaci astatických regulovaných soustav. [9]

### Regulátor D (derivační regulátor)

Regulátor D je regulátor, u kterého změně rychlosti vstupní veličiny odpovídá přímo úměrná hodnota veličiny výstupní. Rovnice takto získaného regulátoru má tvar:

$$x = T_d K_R e' \quad (4.5)$$

kde

$T_d$  - derivační časová konstanta.

Vzhledem k tomu, že derivaci vstupní veličiny odpovídá přímo úměrná hodnota výstupní veličiny, nazýváme tento regulátor derivační regulátor.

### **Sdružené regulátory**

Vlastnosti sdružených regulátorů jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů. V praxi se používají kombinace regulátorů PI, PD a PID.

#### ***Regulátor PI (proporcionálně integrační regulátor)***

Jeho vlastnosti jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů P a I. Tomu odpovídá i jeho rovnice:

$$x = K_R e + \frac{K_R}{T_i} \int e dt \quad (4.6)$$

Přechodová charakteristika regulátoru PI je dána součtem přechodových charakteristik obou jednoduchých regulátorů. Nejdříve do regulačního pochodu zasáhne proporcionální složka regulátoru a poté složka integrační. Tento regulátor pracuje bez trvalé regulační odchylky. [9]

#### ***Regulátor PD (proporcionálně derivační regulátor)***

Vlastnosti tohoto sdruženého regulátoru jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů (P a D). Jeho rovnice má tvar:

$$x = K_R e + K_R T_d e' \quad (4.7)$$

Výsledná přechodová charakteristika regulátoru PD je dána součtem přechodových charakteristik regulátoru P a regulátoru D. Nejdříve do regulačního pochodu zasáhne derivační složka regulátoru, který regulační pochod urychlí, a poté složka proporcionální, která regulační pochod stabilizuje. Tento regulátor však pracuje s trvalou regulační odchylkou. [9]

#### ***Regulátor PID (proporcionálně integrační derivační regulátor)***

Jeho vlastnosti jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů (P, I, D) a tomu odpovídá jeho rovnice:

$$x = K_R e + \frac{K_R}{T_i} \int e dt + K_R T_d e' \quad (4.8)$$

Přechodová charakteristika regulátoru PID je dána součtem přechodových charakteristik jednoduchých regulátorů (P, I, D). Nejdříve do regulačního pochodu zasáhne derivační složka regulátoru, poté složka proporcionální a na závěr složka integrační. Uvedený sdružený regulátor PID pracuje bez trvalé regulační odchylky a lze jej hodnotit jako nejdokonalejší spojitý regulátor. [9]

## 6 Program Labview

V laboratorní úloze se k zobrazování výsledných hodnot, nastavování teploty Peltierova článku a také k přepínání jednotlivých druhů můstkových zapojení tenzometrů využívá program Labview.

### 6.1 Obecný popis programu

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je obecným vývojovým prostředím s bohatými knihovnami pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech fázích procesu (sběru, analýzy a prezentace naměřených dat). Podporuje všechny čtyři základní způsoby sběru dat do počítače (z měřicích přístrojů přes rozhraní RS 232 nebo GPIB, ze zásuvných multifunkčních karet a ze systému na bázi VXI sběrnice). Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami v grafické podobě - takzvaný G jazyk (Graphical language). [12]

LabVIEW je tedy vývojovým prostředím na úrovni například C jazyka, ale na rozdíl od něj není orientován textově, ale graficky. Výsledek tohoto vývojového prostředí se nazývá virtuálním přístrojem (Virtual Instrument), protože svými projevy a činnostmi připomíná klasický přístroj ve své fyzické podobě. Virtuální přístroj jako základní jednotka aplikace vytvořené v tomto vývojovém prostředí obsahuje:

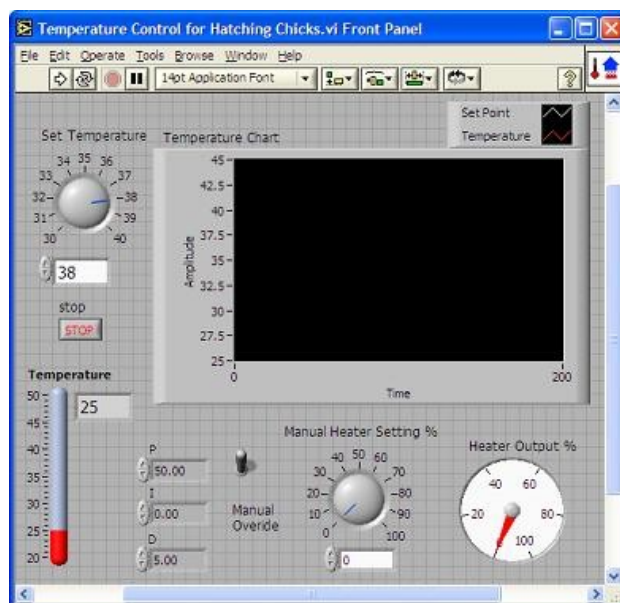
- **Čelní panel (Front Panel):** Simuluje čelní panel fyzického přístroje. Obsahuje prvky pro ovládání a indikaci (tlačítka, knoflíky, LED indikátory, grafy). Čelní panel se ovládá pomocí myši nebo klávesnice.
- **Blokové schéma (Block Diagram):** Zde se vytváří činnost virtuálního přístroje. Toto blokové schéma je vytvořeno ikonami reprezentujícími v koncových blocích ovládací a indikační prvky čelního panelu a ve svých uzlových blocích jsou to bloky zpracovávající procházející data. Tento blokový diagram je zdrojovou podobou každé aplikace.
- 

Virtuální přístroj má hierarchickou a modulární strukturu. Lze jej používat jako celý program nebo jeho jednotlivé podprogramy, které se nazývají podřízenými virtuálními přístroji (Sub-VI). Součástí každého virtuálního přístroje je jeho ikona, kterou je prezentován v blokovém schématu a konektor s přípojnými místy pro vstupní a výstupní signály. [12]

### 6.2 Základní části Labview

#### 6.2.1 Čelní panel

Grafické rozhraní k uživateli plní tutéž úlohu jako čelní panel fyzického přístroje. Pro vytváření čelního panelu je k dispozici samostatné okno. Příklad čelního panelu je zobrazen na obrázku 14.



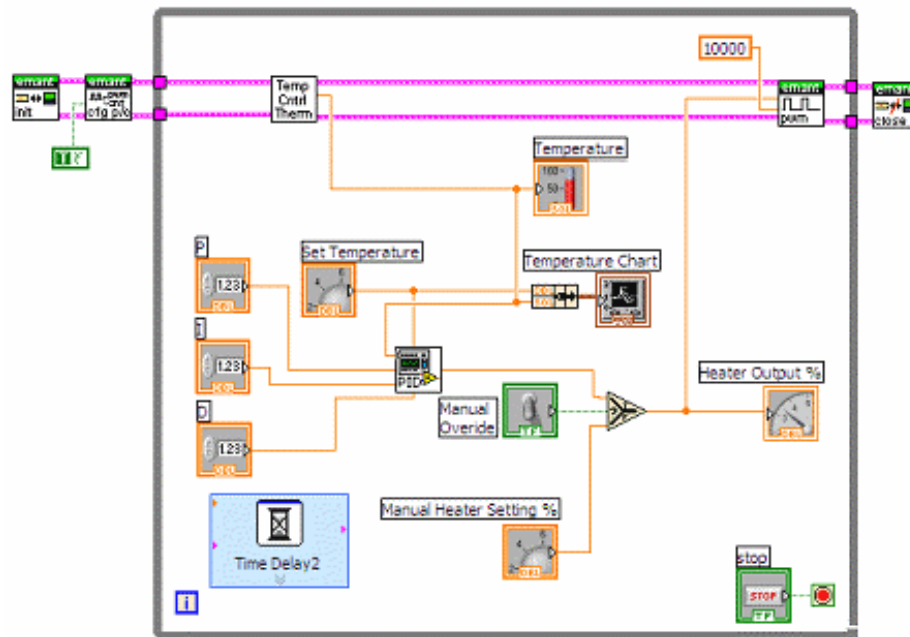
Obrázek 14 Čelní panel programu Labview

Na čelním panelu se nacházejí dva typy prvků:

- **ovládací (controls)** - Simulují vstupní zařízení a slouží pro ovládání virtuálního přístroje. Jinak řečeno zprostředkují vstup informace od uživatele do aplikace.
- **indikační (indicators)** - Simulují výstupní zařízení a slouží k indikaci stavu virtuálního přístroje a výstupu výsledků. Zprostředkují tedy předávání informací směrem od aplikace k uživateli.

### 6.2.2 Blokový diagram

Blokové schéma je grafickým vyjádřením zdrojového kódu virtuálního přístroje. Vytváří se propojováním jednotlivých bloků signálovými cestami. Bloky jsou tvořeny koncovými bloky (source and sink terminals), které jsou na panel blokového schématu umístěny automaticky při tvorbě čelního panelu. Dále jsou tvořeny uzlovými bloky (nodes), které reprezentují bloky zpracování signálu. Příklad blokového diagramu můžete vidět na obrázku 15.



Obrázek 15 Blokový diagram programu Labview

Uživatel může mít k danému virtuálnímu přístroji otevřena obě okna (čelního panelu i blokového diagramu), nebo jen okno čelního panelu. Nelze mít otevřeno pouze okno blokového diagramu. [12]

Při zavření okna blokového diagramu se zavírá pouze okno blokového, při zavření okna čelního panelu se zavírají automaticky okna obě. Uzlové bloky jsou v blokovém diagramu rovny operátorům, příkazům, funkcím a podprogramům klasických programovacích jazyků. Jednotlivé bloky se propojují signálovými cestami (wires). Kromě tohoto propojení existují ještě programové struktury (structures), které nahrazují v grafické podobě standardní konstrukce používané v programovacích jazycích (přepínač, podmíněný příkaz, cyklus). LabVIEW má i propojení na externí bloky textově orientovaného kódu a na textově orientované výrazy. [12]

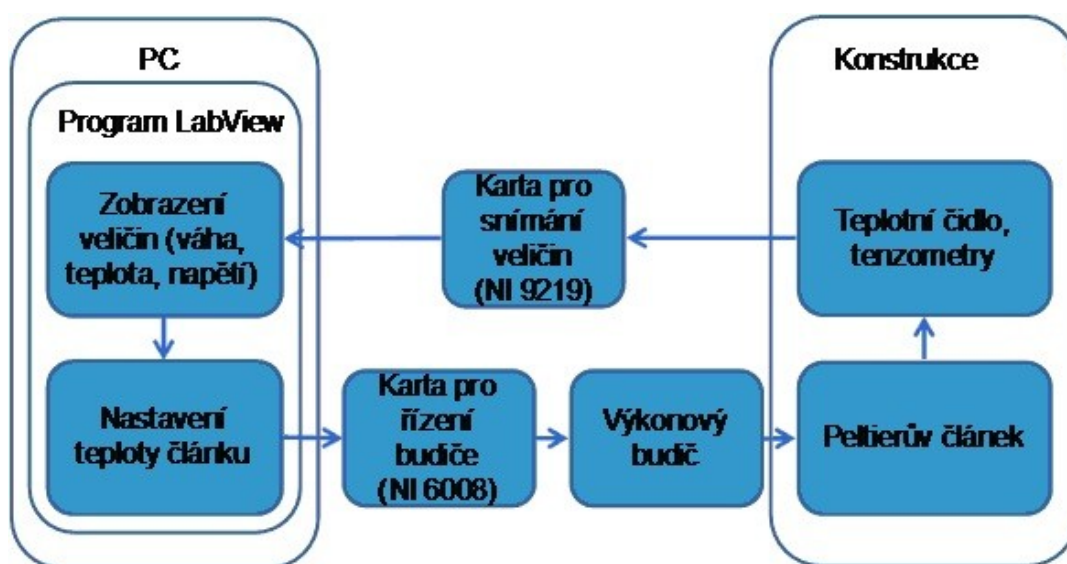
Signálovou cestou se propojují zdrojové a cílové koncové bloky. Nelze propojit vzájemně dva zdrojové koncové bloky. Naopak jde spojit jeden zdrojový koncový blok k několika cílovým. Tvar a barva čáry reprezentující definovanou signálovou cestu rozlišuje typ proměnné, která prochází daným místem. [12]

Běh aplikace v LabVIEW je řízen tokem dat. Tok dat (data flow) je charakterizován pravidlem, že uzlový blok zahájí zpracování dat, má-li k dispozici platná data na všech svých vstupech. Po zpracování je posílá ke všem svým výstupům. Jednotlivé bloky mohou pracovat i současně a tím se tento způsob výrazně liší od sekvenčního způsobu zpracování dat v textově orientovaných jazycích, kde je běh aplikace řízen posloupností příkazů. Použití uvedeného pravidla umožňuje velmi jednoduchou realizaci paralelních větví ve zpracování aplikace. [12]

## 7 Laboratorní úloha

Samotná konstrukce laboratorní úlohy obsahuje několik částí. Jako první je mechanická konstrukce pro měření deformace tenzometrů a následné demonstrování jejich teplotní kompenzace. Jako další částí je využití PC a příslušného programu pro nastavování, ale i snímání výsledných hodnot. Poslední částí laboratorní úlohy je pak komunikace mezi PC a mechanickou konstrukcí (tenzometry, teplotní čidla, Peltierův článek). Tuto komunikaci zajišťují měřící karty od firmy National Instruments. Celkové blokové schéma je pak znázorněno na obrázku 16.

### 7.1 Blokové schéma laboratorní úlohy



Obrázek 16 Blokové schéma laboratorní úlohy

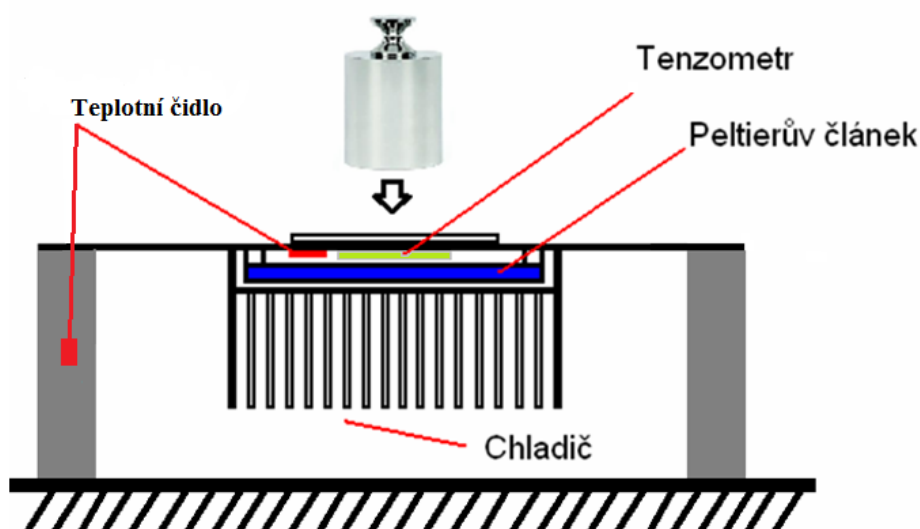
Blokové schéma znázorněné na obrázku 16 obsahuje tyto jednotlivé bloky:

- **Tenzometry** - Hlavní prvky laboratorní úlohy. Měří deformaci konstrukce a tuto deformaci vyjádří pomocí výstupního napětí.
- **Program Labview** - V laboratorní úloze se využívá program Labview. Tento program slouží jak pro zobrazování snímaných veličin, tak i pro regulaci teploty Peltierova článku.
- **Karta pro řízení budiče NI 6008** - Tato karta NI 6008 od firmy National Instruments řídí velikost signálu vysílaného výkonovým budičem.
- **Karta pro snímání veličin NI 9219** - Další karta od firmy National Instruments, která slouží pro přijímání snímaných hodnot z tenzometrů a z teplotních čidel.

- **Výkonový budič** - Převádí pomocí PWM modulace výkon k ohřevu nebo ke chlazení Peltierova článku.
- **Peltierův článek** - Peltierův článek slouží v laboratorní úloze k ohřevu nebo ke chlazení tenzometrů
- **Teplotní čidla** - Teplotní čidla snímají jak teplotu tenzometrů, tak i teplotu okolí.

## 7.2 Návrh mechanické konstrukce tenzometrů

Konstrukce na měření deformace tenzometrů se skládá z planžety, která je pevně uchycena mezi dvěma nosníky. Tyto nosníky jsou dále pro větší stabilitu přišroubovány s rovnou podložkou. Na spodní straně planžety jsou umístěny tenzometry, u kterých se jejich teplotní kompenzace ověřuje změnou teploty Peltierova článku. Ten je umístěn pod tenzometrickým můstkem. Prostor mezi tenzometry a Peltierovým článkem je vyplněn teplovodivou podložkou. Pro lepší odvod tepla z Peltierova článku a také kvůli zabránění přehřívání je pod článkem umístěn chladič. Závaží, které způsobuje deformaci tenzometrů, se pokládá na vrchní stranu ocelové planžety. Celý tento návrh je zobrazen na obrázku 17.

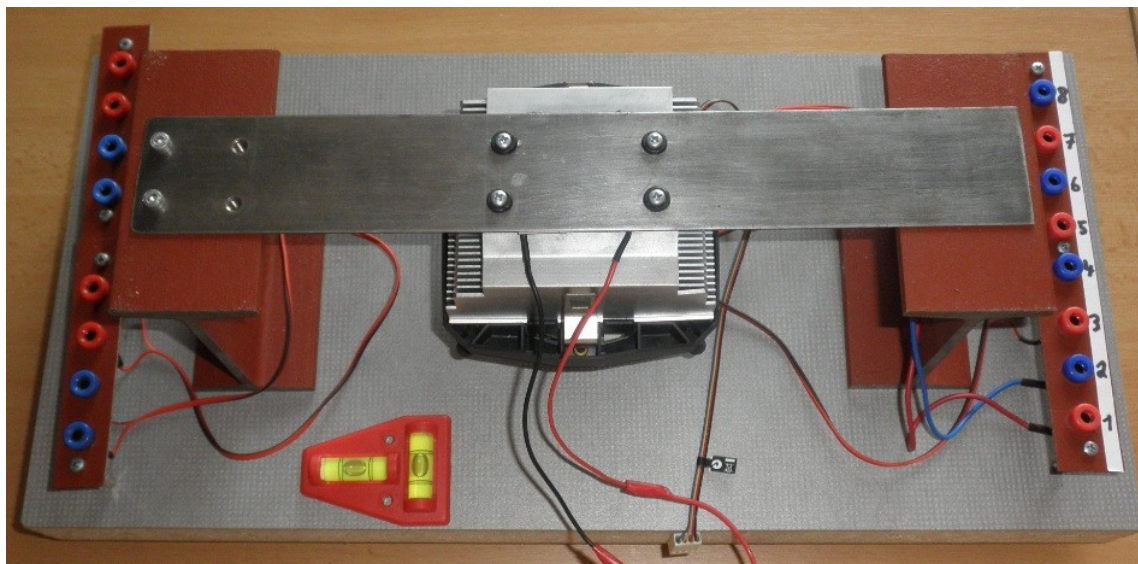


Obrázek 17 Návrh mechanické konstrukce

## 7.3 Vytvoření konstrukce

Samotné vytvoření konstrukce je možné vidět na obrázku 18. Konstrukce se skládá ze dvou nosníků typu I, mezi které je upevněná ocelová planžeta. Uprostřed této planžety je uchycen Peltierův článek s chladičem a větrákem. Tenzometry jsou pak umístěny podle návrhu nad Peltierovým článkem na spodní straně planžety. Dále jsou na celé konstrukci umístěny dvě teplotní čidla typu PT100. Jedno teplotní čidlo je umístěno vedle Peltierova článku na snímání teploty působící na tenzometry a druhé čidlo je umístěno na jednom z nosníků pro snímání teploty okolí. Vývody z tenzometrů a teplotních čidel jsou vyvedeny na banánkové připojení. Z těchto připojení se pak dále

přenáší signál do měřicí karty, která tento signál zpracovává a zobrazuje ho v programu Labview. Celá mechanická konstrukce laboratorní úlohy je pak umístěna na seřiditelných nožičkách. Pro správné vyvážení je na konstrukci umístěna vodováha.



Obrázek 18 Vytvořená konstrukce k laboratorní úloze

## 8 Měřicí karty

Laboratorní úloha využívá dvě měřicí karty. Jsou to karty NI 6008 a karta NI 9219. Obě tyto karty jsou od firmy National Instruments.

### 8.1 Karta NI 6008

Karta NI 6008 je karta řídicí. Má dva analogové výstupy, 16 analogových vstupů a 16 digitálních vstupů / výstupů. Tato karta se používá pro přenesení signálu z regulátoru na výkonový budič, který tento signál výkonově přizpůsobuje pro Peltierův článek. Pro toto řízení se využívají 2 analogové výstupy. Každý analogový výstup pak ovládá jednu polovinu H můstku.





Obrázek 19 Karta NI 6008

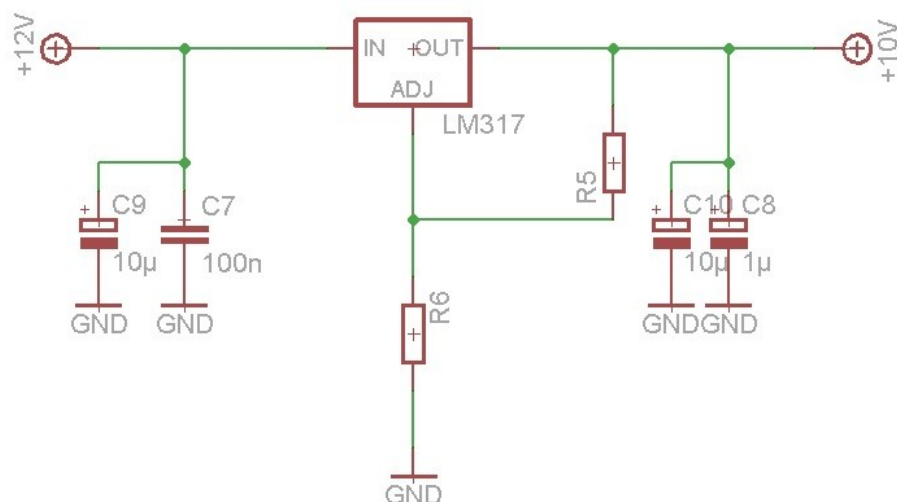
## 8.2 Karta NI 9219

Tato karta v laboratorní úloze slouží jak ke snímání hodnot z tenzometrů v různých druzích zapojení, tak i ke snímání teploty a z teplotních čidel. Nemůže být použita pro regulaci teploty a to z toho důvodu, že neobsahuje žádné výstupy. Jedná se o čtyř-kanalovou měřicí kartu, kde každý kanál má 6 terminálů pro vstupní vodiče.



Obrázek 20 Karta NI 9219





Obrázek 22 Návrh stabilizátoru napětí

Pomocí rovnice a určení odporu  $R_5$  lze jednoduše dopočítat výstupní napětí ze stabilizátoru:

$$U_O = 1,25 \cdot \left( 1 + \frac{R_6}{R_5} \right) + I_{R_6} \cdot R_6 \quad (8.1)$$

Z této rovnice si pak následně vyjádříme  $R_6$  a určíme si hodnoty odporu  $R_5$ . Napětí  $U_O$  je námi požadované výstupní napětí 10V. Proud  $I_{R_6}$  má hodnotu maximálně  $100\mu A$ , a proto můžeme tuto část rovnice zanedbat.

$$U_O = 10V$$

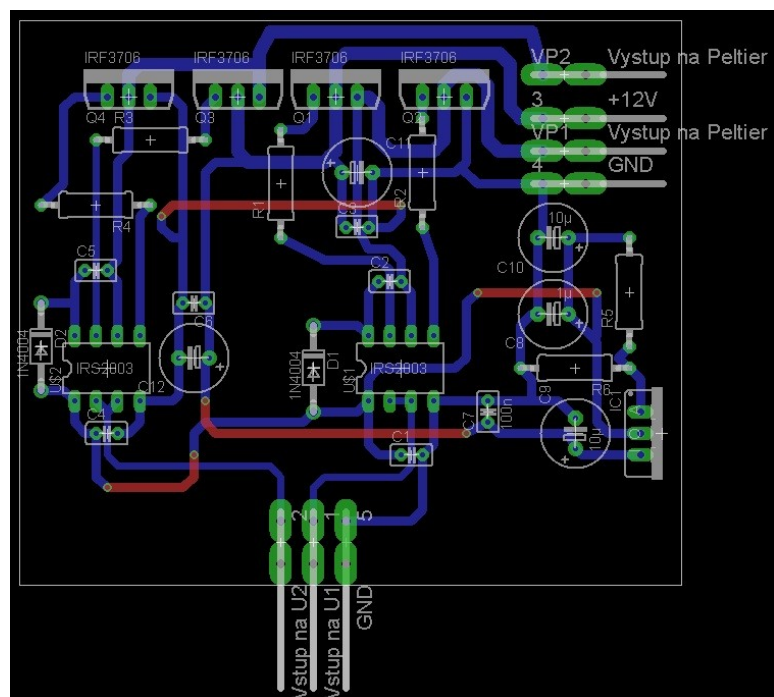
$$R_5 = 1000\Omega$$

$$R_6 = \frac{U_O \cdot R_5 - 1,25 \cdot R_5}{1,25} = \frac{10 \cdot 1000 - 1,25 \cdot 1000}{1,25} = 7000\Omega \quad (8.2)$$

Pomocí této rovnice jsme zjistili, že stabilizátor nám ze vstupního napětí 12V stabilizuje na napětí 10V při použití odporu  $7000\Omega$ .

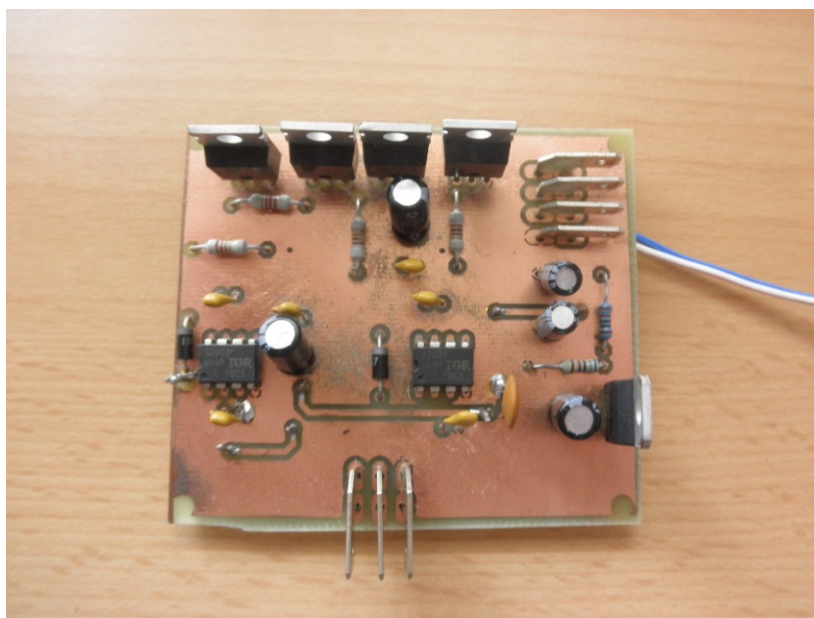
## 9.2 Konstrukce výkonového budiče

Samotná konstrukce spočívala ve vytvoření tištěného spoje výkonového budiče a stabilizátoru. K vytvoření tištěného spoje byl použit program Eagle, který sloužil jednak k vytvoření schématu výkonového budiče a stabilizátoru a k následnému propojení těchto dvou modulů, tak i k sestrojení tištěného spoje. Na obrázku 23 je pak znázorněna výsledná navržená deska. Tato deska je z důvodu úspory rozměrů dvouvrstvá, přičemž součástky jsou umístěny pouze na jedné straně společně s několika propojkami.



Obrázek 23 Návrh desky tištěného spoje

Po tomto navržení se pomocí negativní metody vytvořila výsledná deska, která se poté osadila vybranými součástkami. Výsledná vytvořená a osazená deska tištěného spoje výkonového budiče a stabilizátoru napětí je vyobrazena na obrázku 24.



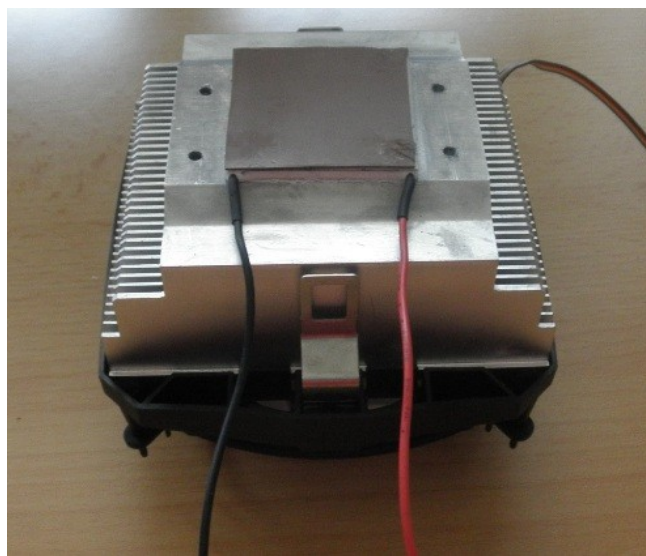
Obrázek 24 Vytvořená a osazená deska výkonového budiče a stabilizátoru

## 10 Peltierův článek

Peltierův článek v laboratorní úloze slouží k ohřevu a chlazení tenzometrů a jejich okolí. Samotný Peltierův článek je umístěn co nejbližně nalepených tenzometrů. Nemůže však být přichycen úplně k tenzometrům, aby nezkresloval jejich deformaci při namáhání. Z tohoto důvodu je zbylý prostor vyplněn teplovodivou podložkou. Používaný článek je zobrazen na obrázku 25. Z důvodu lepšího odvodu tepla z Peltierova článku je pod článkem umístěný chladič s větrákem. V laboratorní úloze je použit Peltierův článek M-TEC1-12710 a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 1. V laboratorní úloze se teplota Peltierova článku reguluje v rozmezí od 10°C do 70°C.

**Tabulka 1 Parametry Peltierova článku**

Název	M-TEC1-12710
Rozměry [mm]	40x40x3,3
Váha [g]	25
$I_{\max}$ [A]	10
$U_{\max}$ [V]	15,8
$Q_{\max}$ [W]	89
$\Delta T$ [°C]	225



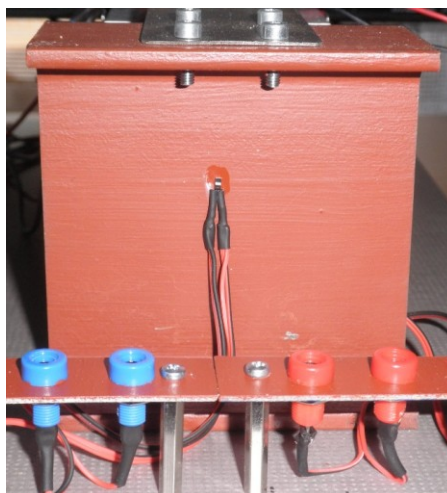
**Obrázek 25 Umístění Peltierova článku na chladič s větrákem**

## 11 Teplotní čidla

V laboratorní úloze se jako teplotní čidlo používá odporový snímač teploty PT100. Tento odporový snímač je vybrán hlavně pro svou přesnost a své rozměry. Snímač PT100 je na konstrukci úlohy umístěn co nejbližně tenzometrům, aby co nejlépe prezentoval jejich skutečnou teplotu. Dále je pak jeden snímač umístěn na samotné konstrukci, a to z důvodu zjištění teploty okolí. V tabulce 2 jsou uvedeny nejdůležitějších parametrů použitého teplotního snímače.

**Tabulka 2 Parametry teplotního čidla**

Název	PT100
Rozměry [mm]	1,7x2,4x1
R [ $\Omega$ ]	100
Rozsah teplot [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-50 až 500



**Obrázek 26 Umístění teplotního čidla na konstrukci**

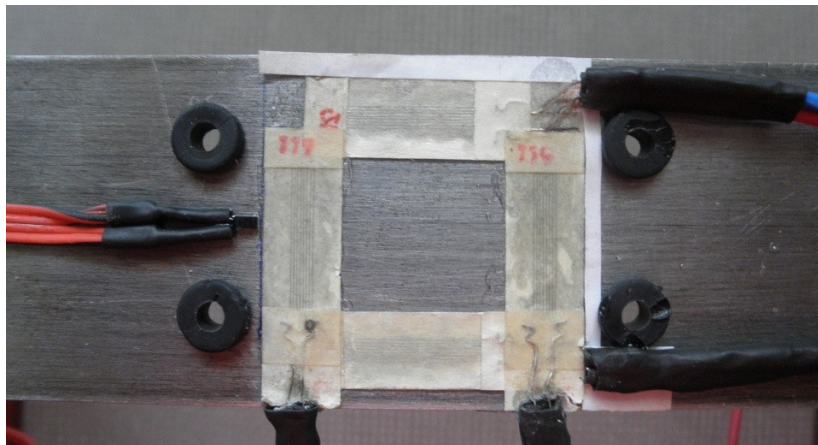
## 12 Tenzometry

Tenzometry použité v laboratorní úloze jsou umístěny na spodní straně ocelové planžety, na kterou se přikládá závaží pro měření deformace. Na tyto tenzometry pak pro demonstraci jejich teplotní kompenzace přiléhá Peltierův článek, který svým ohřevem nebo chlazením mění teplotu samotných odporových tenzometrů. V úloze se využívají odporové tenzometry a jejich přesnější parametry jsou uvedeny v tabulce 3. Samotná teplotní kompenzace tenzometrů se zkouší v jednotlivých zapojení tenzometrů do Wheatstonova můstku. Jednotlivé zapojení se liší počtem aktivních tenzometrů. Při zapojení "čtvrtmůstek" je pouze jeden tenzometr aktivní, u zapojení "půlmůstek" jsou aktivní tenzometry dva a u zapojení "celý můstek" jsou všechny čtyři tenzometry aktivní. Jednotlivé tenzometry jsou v úloze vyvedeny na banánkové spoje, kde se správným zapojením docílí požadovaného typu můstku. Na obrázku 27 jsou pak ukázány nalepené tenzometry společně s teplotním čidlem.



**Tabulka 3 Parametry použitých tenzometrů**

Název	C120
k	2,1
R [ $\Omega$ ]	119



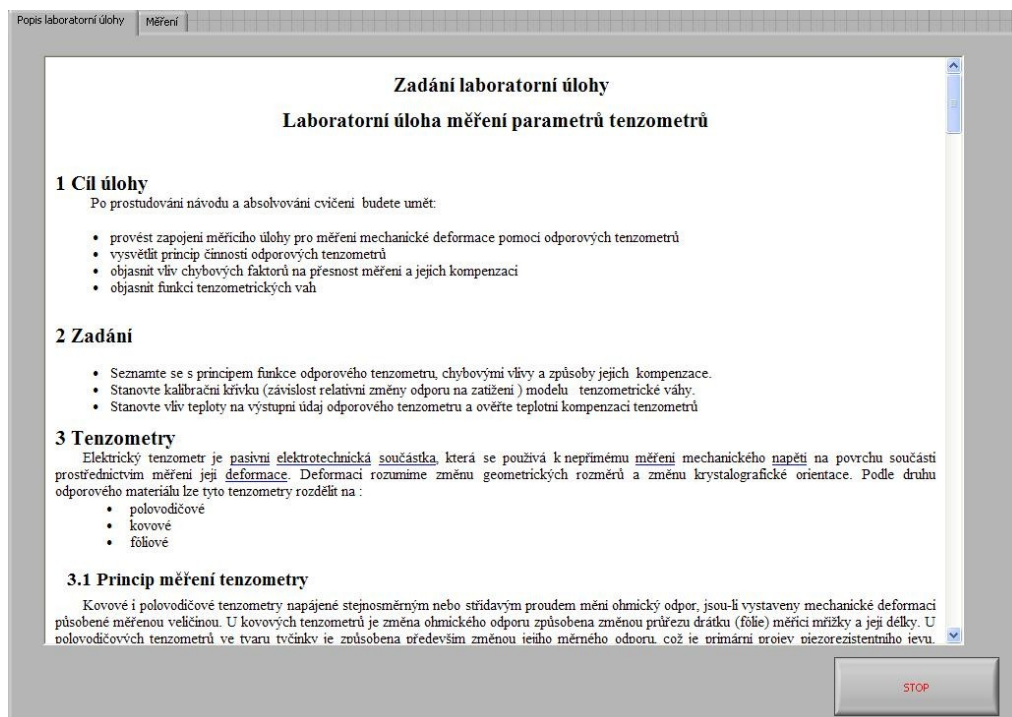
**Obrázek 27 Umištění teplotního čidla a tenzometrů na spodní straně planžety**

## **13 Program Labview**

V laboratorní úloze se ke snímání naměřených hodnot, výpočtům a nastavování teploty využívá vývojového prostředí Labview.

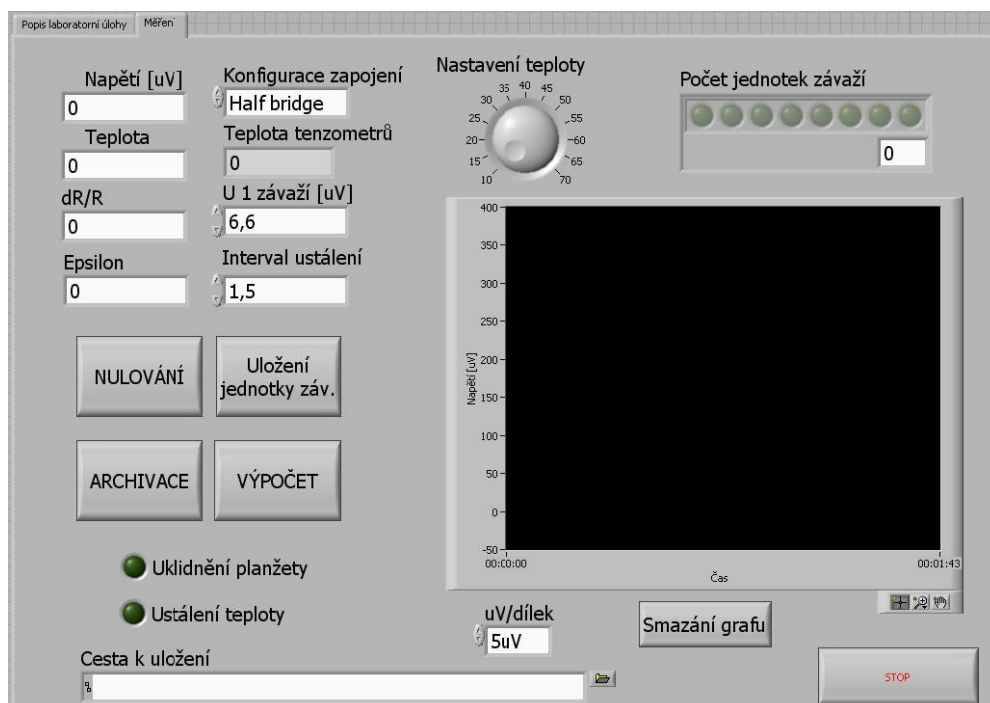
### **13.1 Čelní panel programu**

Na čelním panelu programu vytvořeného pro laboratorní úlohu jsou vytvořeny dvě záložky. V první záložce pod názvem "Popis laboratorní úlohy" je sepsán veškerý postup při měření laboratorní úlohy. Dále také obsahuje kontrolní otázky, které jsou jednou z částí odevzdaného protokolu. Záložka také obsahuje popis jednotlivých funkcí tlačítek a zobrazovacích prvků, které se nachází ve druhé záložce. Obrázek obsahu první záložky je zobrazen na obrázku 28.



Obrázek 28 Čelní panel zadání laboratorní úlohy

Druhá záložka pod názvem "Měření" již obsahuje všechny prvky k měření laboratorní úlohy. Tato záložka je zobrazena na obrázku 29.



Obrázek 29 Čelní panel pro měření



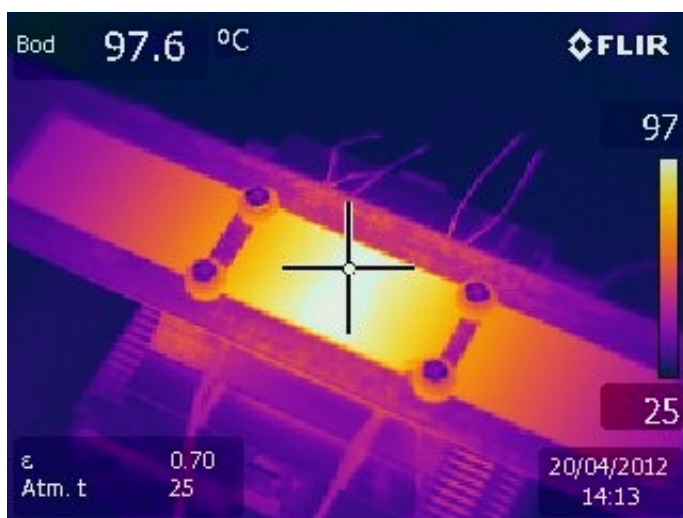
Čelní panel měření pak obsahuje tyto prvky jak pro snímání, tak i k nastavování jednotlivých funkcí programu:

- **Konfigurace zapojení:** V této funkci si nastavujeme požadované nastavení tenzometrů v můstkovém zapojení. Zde je možnost volby mezi čtvrtmůstkem, půlmůstkem a celým můstkem.
- **Napětí:** Zde se nám zobrazuje výstupní hodnota napětí tenzometrů při jejich deformaci.
- **Teplota a Teplota tenzometrů:** Zde se zobrazují hodnoty teploty okolí (konstrukce) a teploty působící na tenzometry.
- **Nulování:** Tlačítko sloužící k vynulování hodnot napětí při nezatížené planžetě.
- **Uložení jednotky závaží:** Slouží k uložení hodnoty deformace tenzometrů při položení jednoho závaží na ocelovou planžetu.
- **U 1 závaží:** Uložená hodnota napětí při deformaci tenzometrů jedním kusem závaží.
- **Cesta k uložení:** Výběr místa uložení, kde se budou ukládat jednotlivé výsledky úlohy
- **Výpočet:** Toto tlačítko slouží k vypočtení  $dR/R$  a Epsilon pro jednotlivé měření deformace tenzometrů.
- **Archivace:** Slouží k uložení vypočtených hodnot do vytvořeného adresáře.
- **$dR/R$  a Epsilon:** Zobrazovací pole, kde se zobrazí jednotlivé hodnoty při měření deformace.
- **Nastavení teploty:** Díky tohoto otočného tlačítka nastavuje požadovanou teplotu tenzometrů.
- **LED uklidnění:** Tato LED dioda zobrazuje, kdy je celá konstrukce bez jakýchkoliv vibrací.
- **LED ustálení teploty:** Zobrazuje, kdy nastavená teplota v programu se shoduje s teplotou na tenzometrech
- **Počet jednotek závaží:** Ukazuje jak binárně, tak i číselně počet jednotlivých závaží umístěných na planžetu.
- **Graf:** Zobrazuje grafický průběh změn při různých stupních deformací po celou dobu měření.
- **Smazání grafu:** Vynulování grafického záznamu.
- **Rozlišení:** Slouží k nastavení rozlišení grafického záznamu měření.

## 14 Výsledky

### 14.1 Ohřev a chlazení Peltierova článku

Jedním z prvních výsledků bylo otestování Peltierova článku při jeho chlazení a ohřevu. Testovala se hlavně jeho maximální a minimální teplota při maximálním výkonu. Dále také hodnotil rozvod tepla po ocelové planžetě. K zobrazení výsledků byla použita termokamera firmy FLIR. Pro přesnější hodnoty měření byly na ocelovou planžetu umístěny papírové proužky se známou emisivitou. Na obrázcích 30 a 31 je možné vidět, že použitá ocelová planžeta nemá velkou teplotní vodivost. Díky tomuto zjištění se nemusí řešit problém s přehříváním celé konstrukce.



Obrázek 30 Ohřev článku při maximalním výkonu



Obrázek 31 Chlazení článku při maximalním výkonu

## 14.2 Výsledky laboratorní úlohy

### 14.2.1 Stanovení kalibrační křivky tenzometrické váhy

V prvním bodě laboratorní úlohy je úkolem změřit deformaci jednotlivých můstkových zapojení tenzometrů při pokojové teplotě. Na konstrukci se zapojuje měřící karta pomocí propojovacích banánků a propojek do jednotlivých druhů můstkových zapojení. V programu se pak nastavilo shodné zapojení. Při každém přiloženém závaží se vypočítaly hodnoty  $dR/R$  a Epsilon, které se následně uložily do vytvořeného adresáře. Jednotlivé výsledky jsou uvedeny v tabulkách č. 4, 5 a 6. Z výsledných hodnot Epsilon byl vytvořený obrázek 32.

**Tabulka 4 Výsledky při zapojení čtvrtmůstek**

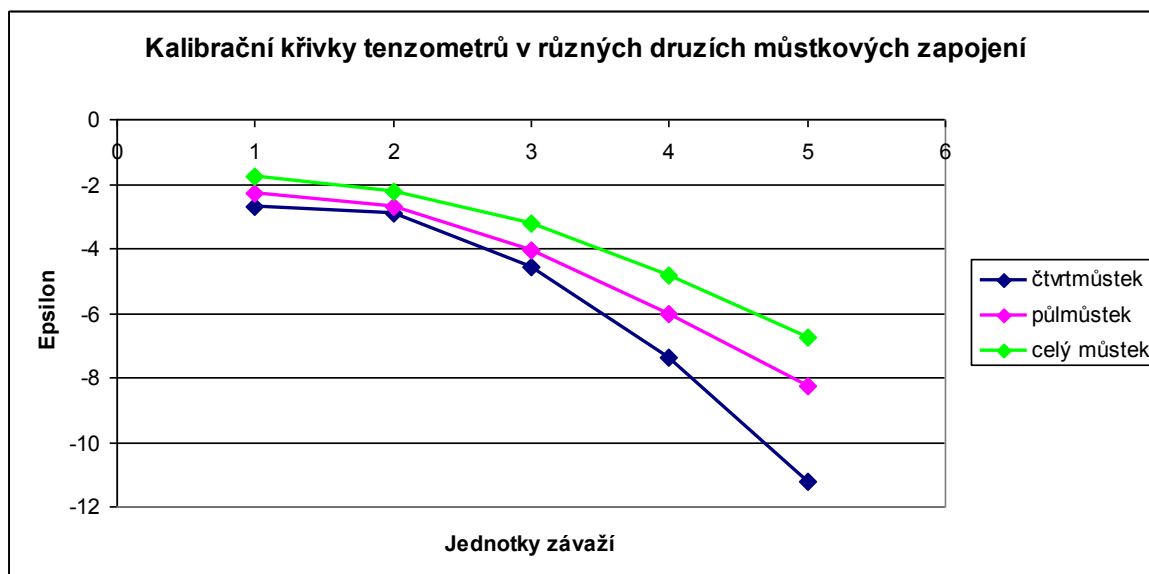
Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	26,2699	-3,4421	-5,6239	-2,6909
2	26,2719	-4,0245	-6,075	-2,9067
3	26,2826	-6,1367	-9,5913	-4,5891
4	26,2899	-10,5482	-15,448	-7,3914
5	26,2811	-14,8141	-23,4326	-11,211

**Tabulka 5 Výsledky při zapojení půlmůstek**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	27,6495	-5,804	-4,7281	-2,2623
2	27,6491	-7,8268	-5,6326	-2,695
3	27,661	-12,2841	-8,516	-4,0746
4	27,6673	-17,0711	-12,5736	-6,0161
5	27,6724	-22,877	-17,2526	-8,2548

**Tabulka 6 Výsledky při zapojení celý můstek**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	26,6768	-9,7274	-3,6437	-1,7434
2	26,7112	-12,4653	-4,7117	-2,2544
3	26,7336	-18,3112	-6,7702	-3,2394
4	26,7529	-27,2552	-10,0693	-4,8178
5	26,7693	-38,5158	-14,1479	-6,7693



Obrázek 32 Kalibrační křivky tenzometrů

#### 14.2.2 Vliv teploty na tenzometr a ověření teplotní kompenzaci tenzometrů

V tomto bodě laboratorní úlohy se vyšetřoval vliv působící teploty na tenzometry při měření deformace. Tímto měřením se ověřovala teplotní kompenzace můstkových zapojení tenzometrů. Postup v této části laboratorní úlohy byl takový, že se na planžetu postupně umisťovaly 1 až 5 počtů závaží a poté se nastavovala teplota tenzometrů. Ohřev nebo chlazení tenzometrů bylo zajištěno Peltierovým článkem umístěným pod nalepenými tenzometry. Teploty působící na tenzometry byly 10°C, 40°C a 70°C. Výsledky zobrazující teplotní kompenzaci tenzometrů v jednotlivých zapojeních byly zaznamenány do tabulek a grafů.

##### Ověření teplotní kompenzace v zapojení čtvrtmůstek:

Pro 10°C:

Tabulka 7 Kompenzace čtvrtmůstu při 10°C

Počet závaží	Teplota [°C]	U [μV]	dR/R	Epsilon
1	10,1022	22,6987	36,31792	17,377
2	10,2131	21,0635	33,7016	16,12517
3	10,1245	18,9513	30,32208	14,50817
4	10,2354	13,2468	21,19488	10,14109
5	10,1893	8,6287	13,80592	6,605703

Pro 40°C:

**Tabulka 8 Kompenzace čvrtmůstu při 40°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	40,1289	-28,3215	-45,3144	-21,6815
2	40,2154	-29,3254	-46,9206	-22,4501
3	40,1963	-30,2654	-48,4246	-23,1697
4	40,1478	-41,2644	-66,023	-31,59
5	40,1695	-50,6517	-81,0427	-38,7764

Pro 70°C:

**Tabulka 9 Kompenzace čvrtmůstu při 70°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	70,1964	-75,3574	-120,572	-57,6899
2	70,1123	-77,1257	-123,401	-59,0436
3	70,1987	-83,3248	-133,32	-63,7893
4	70,1658	-86,4543	-138,327	-66,1851
5	70,2163	-90,2584	-144,413	-69,0973

**Ověření teplotní kompenzace v zapojení pŕlmůstek:**

Pro 10°C:

**Tabulka 10 Kompenzace pŕlmůstku při 10°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	10,1364	-0,6584	-0,52672	-0,25202
2	10,2214	-2,6985	-2,1588	-1,03292
3	10,2134	-7,3363	-5,86904	-2,80815
4	10,1897	-13,1235	-10,4988	-5,02335
5	10,1998	-18,5236	-14,8189	-7,09037

Pro 40°C:

**Tabulka 11 Kompenzace pŕlmůstku při 40°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	40,1485	-11,6985	-9,3588	-4,47789
2	40,1786	-12,5152	-10,0122	-4,79051
3	40,1631	-18,3241	-14,6593	-7,01401
4	40,2054	-22,1269	-17,7015	-8,46963
5	40,1937	-27,3274	-21,8619	-10,4602

Pro 70°C:

**Tabulka 12 Kompenzace pŕlmůstku při 70°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	70,2354	-16,1978	-12,9582	-6,20011
2	70,1532	-18,2649	-14,6119	-6,99135
3	70,1412	-22,1456	-17,7165	-8,47678
4	70,1706	-27,3214	-21,8571	-10,458
5	70,1249	-31,8647	-25,4918	-12,197

## Ověření teplotní kompenzace v zapojení celý můstek:

Pro 10°C:

**Tabulka 13 Kompenzace celého můstku při 10°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	10,1022	-7,2314	-2,89256	-1,384
2	10,2131	-9,9654	-3,98616	-1,90725
3	10,1245	-16,2351	-6,49404	-3,1072
4	10,235	-25,9842	-10,3937	-4,97305
5	10,1893	-35,9687	-14,3875	-6,88396

Pro 40°C:

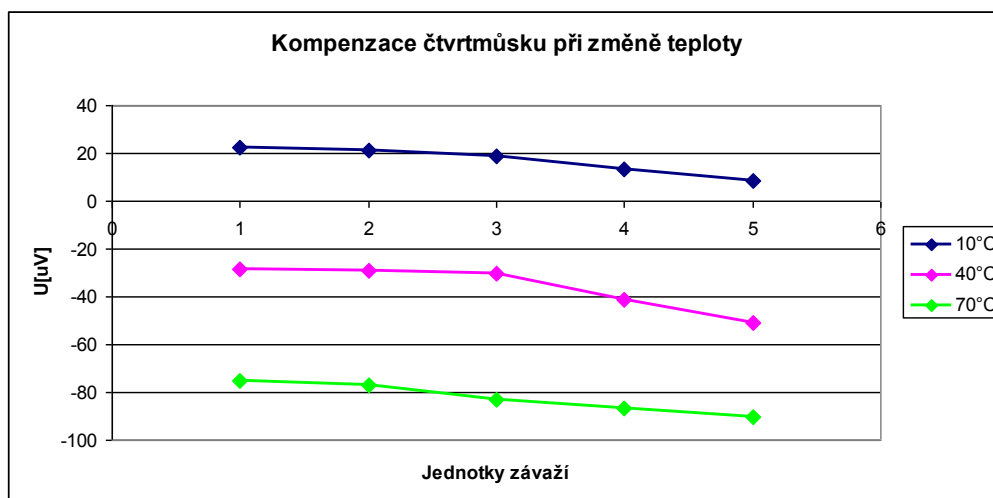
**Tabulka 14 Kompenzace celého můstku při 40°C**

Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	40,1289	-12,2635	-4,9054	-2,34708
2	40,2154	-14,2547	-5,70188	-2,72817
3	40,1963	-21,6587	-8,66348	-4,14521
4	40,1478	-29,4563	-11,7825	-5,63757
5	40,1695	-41,5687	-16,6275	-7,95573

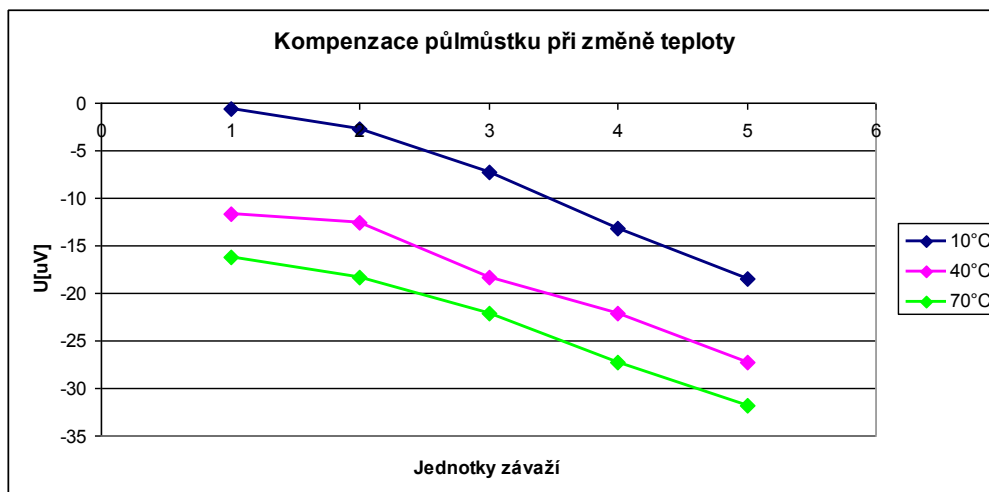
Pro 70°C:

**Tabulka 15 Kompenzace celého můstku při 70°C**

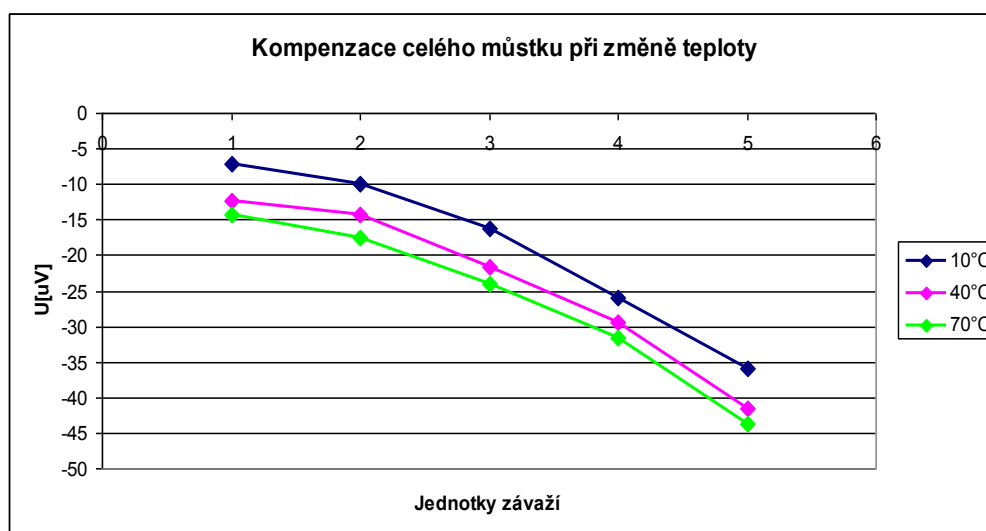
Počet závaží	Teplota [°C]	U [uV]	dR/R	Epsilon
1	70,1964	-14,2654	-5,70616	-2,73022
2	70,1123	-17,4987	-6,99948	-3,34903
3	70,1987	-24,1289	-9,65156	-4,61797
4	70,1658	-31,6987	-12,6795	-6,06674
5	70,2163	-43,7987	-17,5195	-8,38253



**Obrázek 33 Kompenzace čtvrtmůstku**



**Obrázek 34 Kompensace půlmůstku**



**Obrázek 35 Kompensace celého můstku**

## 15 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh a realizace laboratorní úlohy pro měření parametrů tenzometrů. Aby bylo možné tyto parametry změřit, bylo nutné vytvořit vhodnou konstrukci pro měření. Konstrukce pak byla propojena s počítačem s vývojovým prostředím Labview, který slouží k nastavování a záznamu výsledných hodnot. Komunikaci mezi programem a mechanickou konstrukcí zajišťují měřicí karty od firmy National Instruments.

Celkové vytvoření laboratorní úlohy se skládalo z návrhu a výroby mechanické konstrukce, dále pak z navržení, vytvoření a osazení tištěného spoje výkonového budiče a jako poslední musel být také vytvořen samotný program.

Po zhotovení všech potřebných komponentů jsem přešel ke druhé části, k měření parametrů tenzometrů. V bakalářské práci jsem se zabíral hlavně dvěma parametry tenzometrů. Prvním byly kalibrační křivky měření deformace tenzometrů v různých zapojeních Wheatstonova můstku. Jako druhý parametr jsem měřil teplotní kompenzaci tenzometrů ve všech druhých můstkových zapojení. Pro druhou část měření jsem musel navrhnout způsob, jak měnit teplotu působící na tenzometry. Tento problém jsem vyřešil použitím Peltierova článku, který své vyzařované teplo (nebo chlad při ochlazování) předává na použité tenzometry. Teplota článku je řízena z používaného počítačového programu Labview. Vytvořený program nejen slouží k vyhodnocování hodnot získaných z tenzometrů, ale také k nastavování teploty použitého Peltierova článku. Jelikož vytvořená laboratorní úloha bude použita pro výuku v laboratořích předmětu Senzory a měření, navrhoval jsem všechny části úlohy co nejjednodušeji tak, aby nebylo možné provést při měření nějakou chybu.

U prvního úkolu měření kalibračních křivek tenzometrů v můstkových zapojeních se používá pro vytvoření deformace pět stejně těžkých závaží. Výsledky ze všech typů můstkových zapojení se pomocí použitého programu ukládají do vytvořeného adresáře. Z porovnání naměřených výsledků je pak patrné, který typ můstkového zapojení je nejpřesnější.

U druhého úkolu při ověřování teplotní kompenzace tenzometrů se pomocí programu nastavuje i teplota působící na tenzometry. Pro nastavení přesné teploty je u nalepených tenzometrů umístěno teplotní čidlo PT100, které zobrazuje teplotu působící na samotné tenzometry. U měření kompenzace se teplota nastavovala jak nad teplotu v laboratoři, tak i pod úroveň této teploty. Celkový měřicí rozsah byl nastaven na 10°C až 70°C. Při samotném měření se postupovalo stejně jako v prvním bodě laboratorní úlohy a navíc se nastavovala požadovaná teplota tenzometrů. Při vyhodnocení výsledků jsem ověřil teplotní kompenzaci u můstkových zapojení, ale výsledky nebyly úplně přesné. Z tohoto důvodu se musí laboratorní úloha doopravit, hlavně tedy rovnoměrný teplotní rozvod po tenzometrech, který způsoboval tuto chybu měření.

Využití této bakalářské práce se nachází ve výukové laboratoři předmětu Senzory a měření, který mají jako povinný předmět obory Biomedicínský technik a Měřicí a řídicí technika z fakulty Elektrotechniky a informatiky.



## Použité zdroje

- [1] Černohorský J. Tenzometry. *Automatizace*, leden 2005, roč. 48, č.1, s. 63-64.
- [2] Sensorland.com: *How work: the strain gauge*. [online]. [cit. 2012-01-6]. <<http://www.sensorland.com/HowPage002.html>>.
- [3] UNIVERZITA PARDUBICE: FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY. *Materiály pro elektrotechniku: Peltierův článek*. Pardubice, 2008.
- [4] DŘÍNEK, Milan. Hw.cz. REDAKCE HW SERVERU. *Hw.cz: Teorie a praxe: Peltierovy termobaterie* [online]. 16.12.1999 [cit. 2012-01-10]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART652-Peltierovy-termobaterie.html>
- [5] Encyklopedie fyziky. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky: Termoelektrické články* [online]. [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>
- [6] BEJČEK, Ludvík. Měření neelektrických veličin. Brno, 2005 [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: [ftp://d400server.vsb.cz/SaM/Dalsi\\_Materialy/Mereni\\_neelektrickych\\_velicin\\_S.PDF](ftp://d400server.vsb.cz/SaM/Dalsi_Materialy/Mereni_neelektrickych_velicin_S.PDF). Skripta. Masarykova Univerzita.
- [7] ŠPRINGL, Vít. Hw.cz. *Hw.cz: Měření teploty: polovodičové odporové senzory teploty* [online]. Redakce HW serveru, 18.8.2004 [cit. 2012-01-13]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1141-Mereni-teploty---polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [8] Měřicí a řídicí technika. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE FAKULTA CHEMICKO-INŽENÝRSKÁ. *Měřicí a řídicí technika: Regulace* [online]. únor 2005 [cit. 2012-01-14]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F3/F3-ram.htm>
- [9] Web.tuke.sk. *Web.tuke.sk: Spojité regulátory* [online]. [cit. 2012-01-16]. Dostupné z: [web.tuke.sk/sjf-kaar/stranky/.../spojite\\_reg.pdf](http://web.tuke.sk/sjf-kaar/stranky/.../spojite_reg.pdf)
- [10] SPIŠAK, Jan. Snímače a senzory v biomedicině. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1607-4.
- [11] Váhy: Tenzometrické váhy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 29.2.2012. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1hy#V.C3.A1hy\\_tenzometrick.C3.A9](http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1hy#V.C3.A1hy_tenzometrick.C3.A9)
- [12] Kufa, Daniel. *Automatizované měření automobilových alternátorů pomocí programu Labview*. Diplomová práce, VUT Brno, 2009.

[13]IR.IRS2003(S) HALF-BRIDGE DRIVER datasheet [online]. 12.6.2003. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irs2003pbf.pdf>

[14] LM317 3-TERMINAL ADJUSTABLE REGULATOR datasheet [online]. 9.10.209. Dostupné z: [http:// www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM317.pdf](http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM317.pdf)

## **Seznam příloh**

<b>I.</b>	<b>Plošný spoj výkonového budiče a stabilizátoru .....</b>	<b>I</b>
<b>II.</b>	<b>Seznam součástek .....</b>	<b>III</b>
<b>III.</b>	<b>Fotografie části laboratorní úlohy .....</b>	<b>IV</b>
<b>IV.</b>	<b>Zadání laboratorní úlohy .....</b>	<b>VI</b>
<b>V.</b>	<b>Vypracovaná laboratorní úloha .....</b>	<b>XVII</b>